

Trabajo Fin de Grado

Aprovechamiento de terminales satélite analógicos
de media capacidad para su empleo en enlaces IP
tácticos

Autor

Fco Javier Alarcón Sisamón

Directores

Dr. D. Francisco Aznar Tabuena
Cap. D. Brais Lorenzo Seijo

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2020

Resumen

El presente trabajo nace de la necesidad de aprovechamiento de la trama Red Básica de Área (RBA) de 512 kb/s de los terminales satélite militares Asturias de Brigada.

Con el avance de la tecnología la RBA, infraestructura de comunicaciones en el campo táctico de las Grandes Unidades, ha caído en la obsolescencia y por ende las posibilidades que ofrecen los terminales que operan dentro de ella no están siendo utilizadas mermando así la operatividad de las Unidades de Transmisiones (UTRANS).

El reto reside en adaptar la electrónica de red de estos terminales para estudiar la viabilidad del establecimiento de enlaces IP a través de esta trama dotando a las UTRANS de unas capacidades que habían perdido.

Para una satisfactoria y provechosa consecución del proyecto se ha elaborado, en primer lugar, una firme documentación sobre las telecomunicaciones satélite y el funcionamiento de los mismos para posteriormente realizar lo propio con los terminales satélite militares, siendo en este caso el Asturias/B, de forma que un mayor entendimiento sobre estos sistemas permita desarrollar una eficiente y eficaz parte práctica.

La segunda parte de este Trabajo Fin de Grado consiste en la elaboración de pruebas de enlace en la unidad de forma que se corrobore o descarte la viabilidad de este tipo de enlaces.

Para ello ha sido necesario planear la electrónica de red necesaria, reunir el material así como determinar e implementar tanto la configuración de los router como de los cifradores EP-250B.

Durante la realización de las prácticas, acompañado por un equipo compuesto por un suboficial, dos cabos y dos soldados, se han encontrado diversos contratiempos entre los que destacan el estado operativo de los terminales, la dificultad para conseguir acceso a satélite y material debido a que la gran mayoría de los recursos de transmisiones del Ejército de Tierra (ET) están destinados al ejercicio de Instrucción y Adiestramiento (IA) “TORO 2020”. Del mismo modo, la reducida plantilla presente en la unidad a causa de la pandemia ha supuesto que el personal restante, inferior al 50% en ciertos momentos tuviera una carga de trabajo tal que dificultara su colaboración en el desarrollo del proyecto.

Debido al alcance de estos inconvenientes no ha sido posible verificar la viabilidad de los enlaces IP intrateatro a través de la trama RBA de los terminales Asturias, no obstante se han realizado pruebas que permitirán continuar con la línea de investigación partiendo de una sólida y documentada base.

Estas pruebas, fieles a la idea original han prescindido del elemento satélite teniendo por objetivo comprobar la capacidad de los cifradores EP-250B, utilizados en la trama RBA, para trabajar con IP.

Debido a la imposibilidad de reunir el cableado específico requerido por los cifradores no se han podido obtener datos concluyentes no dejando de ser por ello prometedores; a saber:

- En primer lugar se ha determinado la electrónica de red necesaria para llevar a cabo un enlace IP intrateatro que, en términos generales, debería estar disponible en las UTRANS¹.
- Tanto el montaje del dispositivo como la implementación de las configuraciones de los router y cifradores no requiere personal cualificado ni una inversión de tiempo superior al establecimiento de la trama RBA (30 minutos aproximadamente) [1].
- Dada la supuesta viabilidad del proyecto, se estima que este enlace permitiría la transmisión y recepción de voz y datos a una velocidad de 2048 kb/s a diferencia de los medios actuales por la trama RBA convencional que permiten hasta 512 kb/s de voz y 16 kb/s de datos.
- Pretende servir de base a nuevas líneas de trabajo como la obtención de un enlace con la Red de Comunicaciones Militares IPC2 a través de terminales analógicos.

En definitiva, este trabajo presenta una línea de trabajo que permita tanto el aprovechamiento de unos terminales cuyas capacidades son muy necesarias para mantener la operatividad de las UTRANS así como la oportunidad de instruir al personal en un área que, debido al paulatino desuso, acusa de la falta de personal especializado.

¹ Fuente: Centro de Sistemas y Tecnologías de la información y las Comunicaciones del Ministerio de Defensa (CESTIC)

Abstract

The present work is conceived from the need to take advantage of the *Red Básica de Área* (RBA) of 512 kb/s of the Asturias of Brigade military satellite terminals.

With the progresses in technology, the RBA, the communications infrastructure in the tactical field of the Large Units, has fallen into obsolescence and therefore the possibilities offered by the terminals that operate within it are not being used, thus reducing the operability of the Communication Units (UTRANS).

The challenge lies in adapting the network electronics of these terminals to study the viability of establishing IP links through this frame, providing the UTRANS with capabilities that they had lost.

For a satisfactory and profitable achievement of the project, a firm documentation on satellite telecommunications and their operation has been prepared, in the first place, to later proceed likewise with the military satellite terminals, in this case the Asturias-B, so that a better understanding of these systems allows the development of an efficient and effective practical part.

The second part of this Final Degree Project consists of the development of link tests in the unit so that the viability of this type of links is corroborated or discarded.

It was necessary to plan the required network electronics, gather the material as well as determine and implement both the configuration of the routers and the EP-250B ciphers.

During the practices, accompanied by a team composed by a non-commissioned officer, two corporals and two privates, various setbacks have been encountered, including the operational status of the terminals, the difficulty of getting satellite access and equipment due to the fact that the vast majority of the communication resources of the *Ejército de Tierra* (ET) are dedicated to the Instruction and Training (IA) exercise “TORO 2020”. In the same way, the reduced personnel present in the unit due to the pandemic has supposed that the remaining workforce, less than 50% at times, had a workload that made it difficult for them to collaborate in the development of the project.

Due to the magnitude of these drawbacks, it has not been possible to verify the viability of the *Enlace intrateatro* IP through the RBA network of the Asturias terminals, however tests have been performed that will allow to continue with the research line starting from a solid and documented base.

These tests, faithful to the original idea, have removed the satellite element in order to check the ability of the EP-250B cipher, used in the RBA network, to work with IP.

Due to the impossibility of gathering the specific cabling required by the ciphers, it has not been possible to obtain conclusive data, although it is therefore promising; namely:

- In the first place, the necessary network electronics have been determined to obtain an *Enlace intrateatro* IP link which, in general terms, should be available in the majority of the UTRANS.
- Both the mounting of the device and the implementation of the router and cipher configurations do not require qualified personnel or an investment of more time to establish the RBA frame (approximately 30 minutes) [1].
- Given the supposed viability of the project, it is estimated that this link would allow the transmission and reception of voice and data at a speed of 2048 kb/s, as opposed to the current procedure through the conventional RBA network that allows up to 512 kb/s of voice and 16 kb/s of data.
- It is intended to serve as a basis for new lines of work, such as obtaining a link with the IPC2 Military Communications Network through analogical terminals.

As a resume, this project presents a work line that allows both the use of terminals whose capacities are very necessary to maintain the operability of the UTRANS as well as the opportunity to train the personnel in an area that, due to the gradual disuse, accuses the lack of specialized workforce.

Agradecimientos

Mi más sentido agradecimiento al personal de la CIATRANS 16 y en especial a todos los componentes de la sección de satélite por su disposición y compromiso para/con la unidad y conmigo.

Quisiera agradecer, por descontado, tanto a mis Tenientes y al Capitán Lorenzo, por mostrarme su labor del día a día con una actitud cercana y transparente que sin duda han facilitado mi labor durante estas semanas de aprendizaje y han constituido mi primer modelo y ejemplo fuera de la Academia, como a mi tutor, el Doctor Francisco Aznar, quien gracias a sus prontas y acertadas aportaciones me ha facilitado enormemente la consecución de este proyecto.

Aprovecho para agradecer al increíble personal que compone esta empresa, que sin ningún tipo de necesidad dedica su tiempo a ayudar a alguien que no conoce. Personal representado por el Brigada Pedro Arribas, cuyos conocimientos y cercanía componen el compañero que todos querríamos tener cerca. Muchas gracias por ayudarme ya no solo a la realización de este proyecto, sino al Ejército de Tierra a sacar el trabajo adelante.

Y agradecer por último, como no podía ser de otra manera, a mi familia; sin la cual nada de lo que haya hecho hasta ahora o en el futuro, hubiera sido posible. Esto es más vuestro que mío, muchas gracias.

A mi abuelo.

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 . Marco del proyecto	1
1.2. Justificación y Motivación.....	1
1.3. Objetivos y Alcance.....	2
1.4. Estructura de la memoria	3
Capítulo 2. Comunicaciones Satélite	4
2.1. Introducción a las comunicaciones satélite	4
2.1.1. Elementos de una comunicación satélite	5
2.2. Funcionamiento de un satélite	7
2.2.1. Enlace ascendente o Uplink.....	7
2.2.2. Transpondedor.....	8
2.2.3. Enlace descendente o Downlink.....	10
2.3. Ventajas e inconvenientes	11
2.3.1. Ventajas	12
2.3.2. Desventajas.....	12
Capítulo 3. Terminal Asturias de Brigada.....	13
3.1. Características del sistema.....	14
3.2. Capacidades	15
3.3. Funcionamiento	15
Capítulo 4. Validación de pruebas de enlace.....	19
4.1 Montaje del experimento	19
4.1.1. Primera prueba.....	20
4.1.2. Segunda prueba	24
Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro.....	27
5.1. Conclusiones.....	27
5.2. Líneas de trabajo futuro	28
Capítulo 6. Referencias bibliográficas	29

Índice de figuras

FIGURA 1. SEGMENTOS DE UNA COMUNICACIÓN SATELITAL.	5
FIGURA 2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ENLACE ASCENDENTE O UPLINK.	7
FIGURA 3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRANSPONDEDOR.	8
FIGURA 4. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ENLACE DESCENDENTE O DOWNLINK.	10
FIGURA 5. TERMINAL SATELITE ASTURAS/B DESPLEGADO.	13
FIGURA 6. SALIDAS QUE PROPORCIONA UN TERMINAL ASTURIAS/B ATENDIENDO A LA TRAMA UTILIZADA. REPRESENTADA EN ROJO LA TRAMA RBA Y EN AZUL LA TRAMA SECOMSAT	14
FIGURA 7. CAMINO DE LA SEÑAL (TRAMA SECOMSAT).....	15
FIGURA 8. CAMINO DE LA SEÑAL (TRAMA RBA).	18
FIGURA 9. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MONTAJE DE UN ASTURIAS/B PARA LA PRIMERA PRUEBA.	20
FIGURA 10. MONTAJE DE LA PRIMERA PRUEBA EN EL TERMINAL ASTURIAS/B.	21
FIGURA 11. DISPLAY OFRECIDO POR EL MÓDEM DURANTE LA REALIZACIÓN DE UN BUCLE LOCAL.	23
FIGURA 12. DISPLAY DEL MÓDEM CON INDICADOR EN STATUS EN VERDE.....	23
FIGURA 13. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PRUEBA 2.....	24
FIGURA 14. DISPLAY DE HYPER TERMINAL MOSTRANDO LAS INTERFACES SERIAL CAÍDAS O DOWN.	25
FIGURA 15. IMAGEN DEL PINEADO UTILIZADO DURANTE LAS PRUEBAS.....	27
FIGURA 16. IMAGEN DE LA BIBLIOTECA VIRTUAL.	31
FIGURA 17. CLIENTE RUGERIZADO PANASONIC TOUGHBOOK.	33
FIGURA 18. PAR DE CLABLES RJ45..	31
FIGURA 19. ROUTER CISCO 1601 R (VISTA ANTERIOR).....	34
FIGURA 20. ROUTER CISCO 1601 R (VISTA POSTERIOR).....	34
FIGURA 21. ROUTER CISCO 7200 SERIES CON CABLE DE ALIMENTACIÓN.	35
FIGURA 22. CABLE STANDARD DTE CISCO.	31
FIGURA 23. CABLE STANDARD BLACKBOX-ROUTER.	36
FIGURA 24. CABLE CONSOLA.	31
FIGURA 25. CIFRADOR EP-250B (VISTA ANTERIOR).....	37
FIGURA 26. CIFRADOR EP-250B (VISTA POSTERIOR).	37
FIGURA 27. MÓDEM PARADISE 300 JUNTO CON EL Up/DOWN CONVERTER.	38
FIGURA 28. TERMINAL ASTURIAS/B CON SU ANTENA DESPLEGADA.	38
FIGURA 29. ESQUEMA DE RED EN PACKET TRACER.....	39
FIGURA 30. CONFIGURACIÓN CLIENTE_A	40
FIGURA 31. CONFIGURACIÓN CLIENTE_B.	41
FIGURA 32. CONFIGURACIÓN ROUTER_A.	42
FIGURA 33. CONFIGURACIÓN ROUTER_B.	43
FIGURA 34. CONFIGURACIÓN ROUTER_C.	44
FIGURA 35. COMANDO PING EXITOSO DESDE EL CLIENTE_A AL CLIENTE_B.....	45
FIGURA 36. CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDEM.....	46
FIGURA 37. CONFIGURACIÓN DE LOS CIFRADORES.	46
FIGURA 38. ÓRBITAS SATELITALES.	47

Lista de Acrónimos

Acrónimo	Significado en Español	Significado en Inglés
ASK	Modulación por Desplazamiento de Amplitud	Amplitude Shift Keying
BPF	Filtro Paso de Banda	Band Pass Filter
EAN	Estación de Anclaje	-
FC	Controlador de terminal	Facility control
FSK	Modulación por Desplazamiento de Frecuencia	Frequency Shift Keying
GEO	Órbita Geoestacionaria	Geosynchronous Orbit
HEO	Órbita Alta	High Earth Orbit
HPA	Amplificador de Potencia	High Power Amplifier
IF	Frecuencia Intermedia	Intermediate Frequency
LAN	Red de Área Local	Local Area Network
LEO	Órbita Baja	Low Earth Orbit
LNA	Amplificador de Bajo Ruido	Low Noise Amplifier
MEO	Órbita Media	Medium Earth Orbit
MOLTU	Unidad Terminal de Fibra Óptica	-
ODGT	Módulo MTS- Enlaces InterMTS e interfaz STANAG-4206	-
PSK	Modulación por Desplazamiento de Fase	Phase Shift Keying
RBA	Red Básica de Área	-
RTC	Red Telefónica Conmutada	-
SAI	Sistema de Alimentación Ininterrumpida	-

SCTM	Sistema Conjunto de Telecomunicaciones Militares	-
SECOMSAT	Sistema Español de Comunicaciones Satélite	-
SEP/OSC	Funcionalidad, Planificación, Control y Supervisión EUROCOM	-
WAN	Red de Área Amplia	Wide Area Network

Lista de acrónimos

Capítulo 1. Introducción

Este Trabajo de Fin de Grado se realizó íntegramente en la Compañía de Transmisiones (CIATRANS16) encuadrada en el Batallón de Cuartel General (BCG XVI) perteneciente a la Brigada Canarias XVI en la Base General Alemán Ramírez ubicada en Las Palmas de Gran Canaria.

1.1 . Marco del proyecto

Para satisfacer las necesidades de conocer y transmitir información y órdenes se necesita, de forma general, un sistema de telecomunicaciones. Las Unidades de Transmisiones (UTRANS) son las responsables de establecer y asegurar el funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones e información para el mando y control de las Grandes Unidades (GU).

Estas Grandes Unidades, como pueden ser las de tipo Brigada, despliegan en teatros de operaciones muy diferentes. Estos teatros presentan situaciones tácticas, meteorológicas y orográficas tan diversas que requieren de un sistema de comunicaciones flexible en consonancia.

Se entiende por medio flexible, en el marco de las comunicaciones militares, aquel que:

- Permite un fácil despliegue y rápida puesta en funcionamiento.
- Trabaja de forma autónoma, es decir, no necesita medios adicionales que lo complementen.
- Opera sin necesidad de una infraestructura de telecomunicaciones cuyo montaje pueda ser inviable o susceptible de sabotajes u otro tipo de ataque enemigo.

De lo anteriormente citado surge el interés por las comunicaciones satélite y el auge de su empleo en las fuerzas armadas [2].

1.2. Justificación y Motivación

Del gran número de terminales satélite en uso en las fuerzas armadas se destaca el que atañe a este proyecto, el terminal satélite militar Asturias de Brigada (Asturias/B).

Este terminal, presente en las unidades tipo Brigada en España, es una estación con capacidad para las telecomunicaciones satélite integrada en la red mallada de centros nodales denominada Red Básica de Área (RBA), que fue durante muchos años la principal infraestructura de comunicaciones del Ejército de Tierra.

Actualmente la RBA ha caído en desuso debido a la obsolescencia de sus sistemas, las escasas capacidades que proporciona y la pérdida de la exclusividad de uso de las frecuencias que utiliza [1].

Debido a ello, los terminales Asturias/B disponen de capacidad para establecer una trama RBA de 512 kb/s que no está siendo aprovechada.

Ante este ineficiente e ineficaz empleo de los recursos materiales, surge la necesidad de buscar otras vías que permitan darle una nueva vida a estos terminales al tiempo que aumenten la capacidad operativa de las Unidades de Transmisiones (UTRANS).

1.3. Objetivos y Alcance

En el marco de lo anteriormente expuesto nace este Trabajo Fin de Grado que plantea el estudio de una nueva vía en el empleo de estos terminales satélite Asturias/B mediante la iberización de su trama RBA.

Se entiende por iberización el conjunto de procesos mediante los cuales se permite trabajar con *Internet Protocol* (IP) en un terminal cuyo modo de trabajo, a priori, no lo permite (terminales analógicos como el Asturias-B por ejemplo). Esto se pretende conseguir añadiendo un router a la electrónica de red de ambas estaciones y eliminando de ella aquellos elementos que dificultan esta operación.

Este router nos va a permitir interconectar dos o más redes cuyo tráfico administra una vez realizado el direccionamiento IP.

Con ello se espera dotar a dicha trama de capacidades de enlace intrateatro IP o con la Red de Comunicaciones Militares IPC2. Esto permitiría:

- Simplificar los despliegues de transmisiones en unidades tipo Brigada por el principio de escalabilidad. Esto es debido a que el enlace analógico requiere de una arquitectura de enlaces punto-a-punto donde las estaciones precisan de un enlace directo, lo que en RBA implica una estación adicional, con todas aquellas con las que deseen tener comunicación. La ventaja que esto proporciona reside en que aquellas estaciones que trabajen con IP permiten la conexión a una red previamente configurada que no requiere de medios adicionales.
- Dar utilidad a esa trama RBA de 512 kb/s que actualmente está en desuso mejorando así la capacidad operativa de las unidades.
- La Red Satélite de las Fuerzas Armadas (FAS) ya trabaja con este protocolo que simplifica los enlaces interejército.
- Los router son relativamente sencillos de configurar y no precisan de personal altamente especializado.
- La iniciativa Infraestructura de Información Integral para Defensa (I3D) persigue la sustitución de los multiplexores (Fleximux y AP-100) en pro de una Estandarización a nivel FAS bajo el protocolo IP.

1.4. Estructura de la memoria

La presente memoria se divide en 5 capítulos. El primero de ellos pretende dar un contexto a este proyecto seguido por una justificación y motivación del mismo. Posteriormente se presenta el punto inicial y el final, que no es otro que el de determinar la veracidad de la hipótesis que se plantea.

En el segundo capítulo se realiza una introducción a las comunicaciones satélite. En primer lugar, se presentan los dos segmentos y los componentes de cada uno de ellos; estos están bien diferenciados y son comunes a cualquier comunicación satelital.

A continuación se procede a describir de forma detallada el funcionamiento de una comunicación satelital, haciendo especial incisión en el camino recorrido por la señal. Una vez presentado el procedimiento de una comunicación satelital convencional, se da paso al Capítulo 3 donde se exponen tanto las capacidades como funcionamiento del terminal satélite militar Asturias/B.

Posteriormente, y gracias a la visión proporcionada por el contexto teórico aportado en los capítulos anteriores, la memoria aborda el Capítulo 4 donde, tras plantear la hipótesis del proyecto, se realiza una descripción de las pruebas realizadas y su contexto, así como un análisis de los resultados obtenidos y la correspondiente conclusión extraíble de este análisis.

Finalmente se presenta el capítulo 5 que, a modo de epítome, recoge las conclusiones y lecciones aprendidas percibidas durante la realización del presente proyecto, así como unas posibles líneas de trabajo futuro que, a juicio del autor, permitan aprovechar y rentabilizar las bases que este documento proporciona en este campo que a pesar de su reciente incorporación en las FAS, está adquiriendo un crecimiento tan prometedor como lo son sus posibilidades.

Finalmente, y con el objetivo de hacer más comprensible y amena la lectura de este Trabajo Fin de Grado, se proporcionan unos anexos con material gráfico que permiten visualizar aquellos dispositivos o montajes que requieren de algo más que unas palabras para su descripción.

Capítulo 2. Comunicaciones Satélite

2.1. Introducción a las comunicaciones satélite

El hombre ha lanzado al espacio miles de satélites artificiales, desde el lanzamiento del primer satélite en 1957 [3] hasta la fecha, se cuenta con más de cinco mil satélites en órbita de distintos tipos, siendo utilizados la gran mayoría de ellos para servicios comerciales.

De entre los numerosos tipos de satélites que podemos encontrar en órbita, destacan aquellos destinados a ofrecer servicios meteorológicos, captura de imágenes y observación, posicionamiento global y los que nos atañen en este proyecto, los satélites de comunicaciones.

En la actualidad las telecomunicaciones inalámbricas se han hecho indispensables para el ser humano, esto se debe a que los fenómenos que ocurren en cualquier parte del mundo pueden afectarnos directa e inmediatamente, por ello, la importancia de disponer de información en tiempo real es cada vez mayor.

El papel principal que realizan las comunicaciones vía satélite, siempre y cuando la meteorología lo permita, es la de enlazar dos puntos que se encuentran a gran distancia y cuando la orografía o la dispersión geográfica dificultan las comunicaciones convencionales por medio de infraestructura de radioenlaces.

A medida que avanza la tecnología, las comunicaciones satelitales se han comenzado a utilizar de forma regional e incluso doméstica, lo que hace a este tipo de comunicaciones una de las de mayor demanda para el futuro.

No obstante, las comunicaciones vía satélite no solo están experimentando un crecimiento exponencial en el ámbito civil; la proliferación de los conflictos asimétricos conlleva una creciente necesidad de contar con sistemas que permitan flexibilizar el uso de las comunicaciones en cualquier escenario y situación táctica. Esto implica la utilización de sistemas capaces de ser desplegados en cualquier teatro de operaciones donde el empleo de equipos estáticos o redes permanentes presenta, en muchas ocasiones, un elevado riesgo tanto para el funcionamiento e integridad de las infraestructuras como para la seguridad del personal destinado en ellas.

Los medios de telecomunicaciones satélite cumplen con dicho objetivo, ya que, a la facilidad de su transporte y la sencillez de su despliegue se suma la fiabilidad de la transmisión de la información (información redundante debido al gran número de transpondedores en un mismo satélite). Todo ello supone una gran ventaja táctica en teatros de operaciones y en definitiva de un recurso fundamental en las unidades del que tan solo se acusa de, añadido a otros inconvenientes ya mencionados, una mayor latencia y un menor ancho de banda comparado con otros medios de transmisión, así como el hecho de que su uso esté sujeto a la disponibilidad del satélite.

Por tanto, estos terminales satélite que no pretenden sustituir a otros medios tácticos existentes en las FAS, sí son de gran utilidad para complementarlos.

2.1.1. Elementos de una comunicación satélite

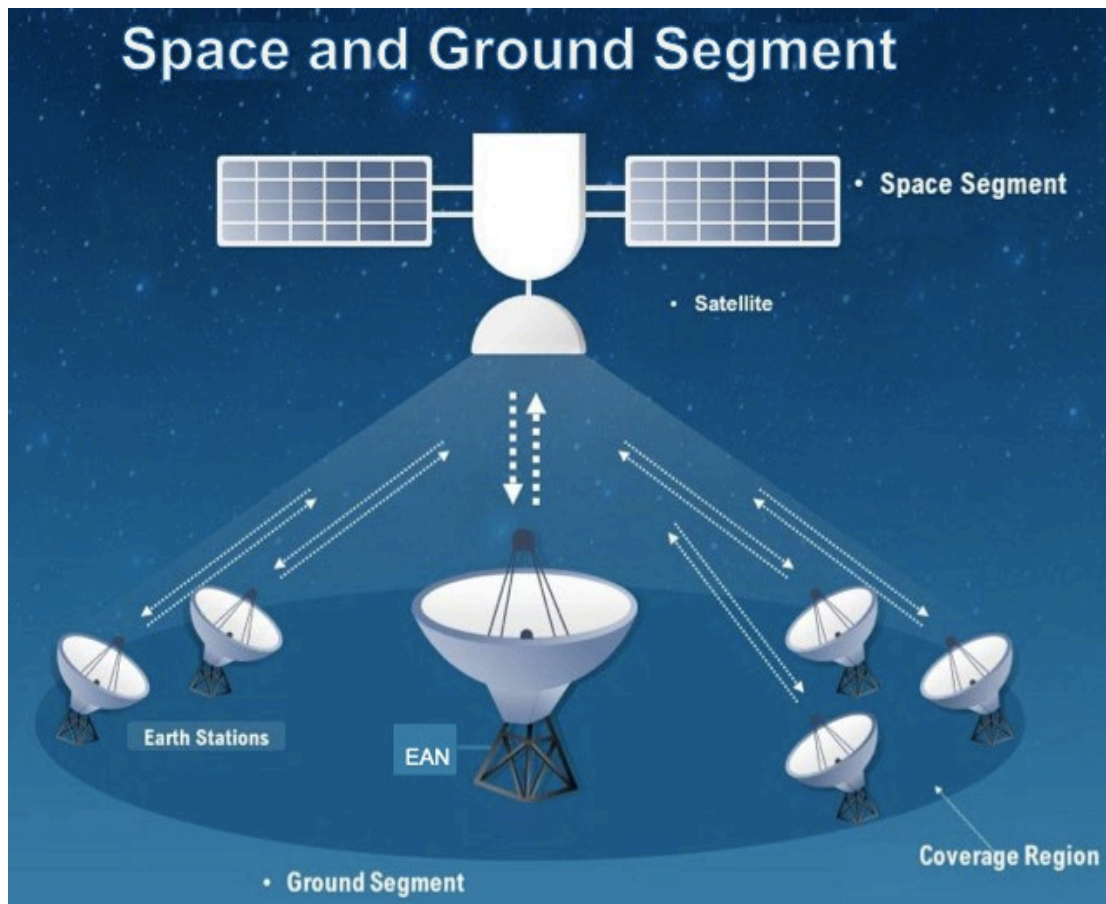


Figura 1. Segmentos de una comunicación satelital².

En toda comunicación satelital convencional destacamos una serie de elementos comunes e indispensables para que se realice la transmisión de la información [4]. Estos elementos se encuentran divididos en dos segmentos; terreno y espacial (Figura 1):

Segmento terreno

- *Estaciones terrestres*

Las estaciones terrestres proporcionan interfaces de radio entre el espacio y los segmentos terrestres para telemetría, seguimiento y comando, así como para la transmisión y recepción de datos de carga útil.

- *Centros de control de misión*

Los centros de control de misión procesan, analizan y distribuyen la telemetría de las naves espaciales; también emiten comandos, cargas de datos y actualizaciones de software.

²Fuente: <https://www.slideteam.net/satellite-communication-for-coverage-of-space-and-ground-segment.html>

- *Redes terrestres*

Manejan la transferencia de datos y la comunicación de voz entre los diferentes elementos del segmento terrestre. A menudo combinan elementos LAN y WAN acompañados de cifrado y cortafuegos para brindar seguridad a la información de la red.

- *Terminales remotos*

Los terminales remotos son interfaces en redes terrestres, separadas del centro de control de la misión, a las que pueden acceder los controladores de carga útil, analistas de telemetría, equipos de instrumentos y científicos así como personal de apoyo y administradores de sistemas y equipos de desarrollo de software.

- *Instalaciones de prueba e integración*

Los vehículos espaciales y sus interfaces se ensamblan y prueban en instalaciones de integración y prueba, esto permite comprobar las comunicaciones y el comportamiento tanto de la nave como de las comunicaciones antes del lanzamiento.

- *Instalaciones de lanzamiento*

Los vehículos se envían al espacio a través de instalaciones de lanzamiento que se encargan de la logística del lanzamiento.

Segmento espacial.

- Comprende al satélite o constelación si la hubiere y los enlaces ascendente y descendente (*Uplink* y *Downlink*). Estos satélites suponen el nexo de unión entre la estación emisora y la receptora.

Satélite de telecomunicaciones

Un satélite de telecomunicaciones es un artefacto construido por el hombre y lanzado al espacio que se mueve alrededor de algún planeta bajo el efecto de la fuerza de atracción de masas.

Los satélites funcionan como repetidores en el espacio que ejercen prácticamente las mismas funciones que las torres de los radioenlaces de microondas instaladas en el suelo. Los satélites reciben desde la tierra señales de radio muy débiles, las amplifican, las trasladan en frecuencia y las retransmiten a la tierra creando así un canal de comunicación entre un transmisor fuente y un receptor en diferentes lugares de la Tierra.

Los satélites pueden ser puestos en órbita mediante cohetes propulsores, o bien pueden ser transportados al espacio exterior a bordo de un transbordador espacial. Un satélite está constituido por un cuerpo, construido a base de aleaciones ligeras o de materiales compuestos. Algunos instrumentos han de ser protegidos de temperaturas extremas o del vacío exterior, por lo cual van instalados en compartimentos muy preparados.

En cuanto a la estructura exterior, cabe destacar el sistema de alimentación eléctrica, formado por paneles fotovoltaicos con el fin de convertir la luz solar en energía eléctrica. A su vez, los satélites están dotados de un equipo estabilizador que les permite mantener constante su orientación y de un motor corrector de trayectoria, el cual permite ajustar su posición.

Los satélites se pueden clasificar de diversas maneras en base a muy variados criterios. Contenido en el Apéndice D se proporciona una clasificación que atiende a la altura (órbita) en la que operan por ser uno de los más extendidos y generales criterios de clasificación de satélites con la finalidad de proporcionar, de forma rápida los tres grandes grupos que existen a este respecto y los servicios más frecuentes que proporciona cada uno de estos grupos.

Por otro lado, y siendo este criterio uno de mayor interés en el ámbito militar, se identificarán las bandas de frecuencias en las que operan; siendo esto de una vital importancia para la regulación de su uso, interoperabilidad entre terminales e inclusive acciones contra las frecuencias del enemigo.

2.2. Funcionamiento de un satélite

En un sistema de comunicaciones satélite podemos distinguir tres fases [5]:

2.2.1. Enlace ascendente o Uplink

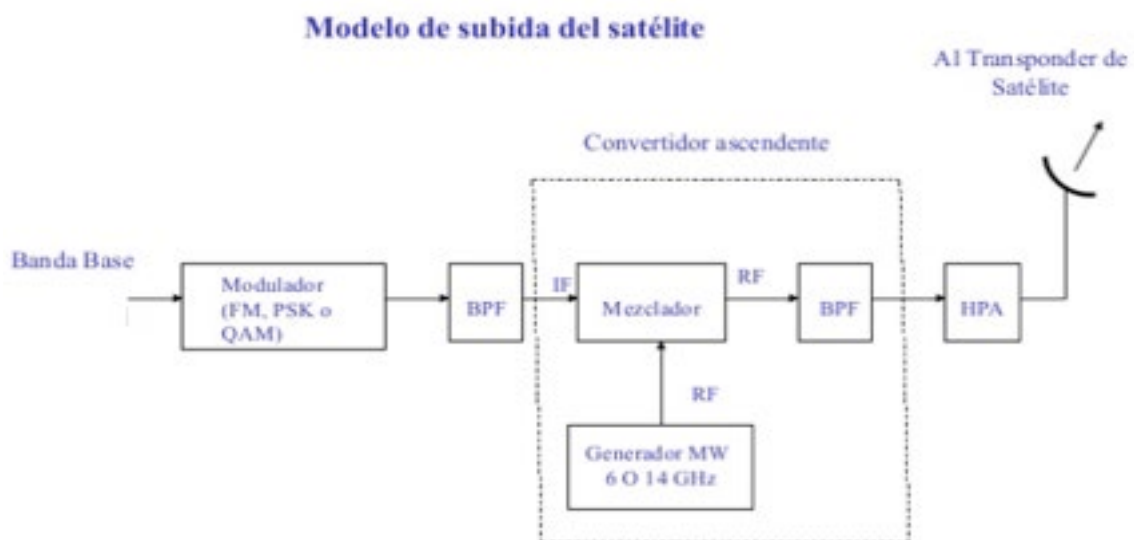


Figura 2. Diagrama de bloques del enlace ascendente o Uplink³.

El Uplink se corresponde con la transmisión de la señal desde la estación terrena al satélite. Dispone de los siguientes elementos, ilustrados en la Figura 2:

³ Fuente: <https://es.slideshare.net/jeysonezrt/sistema-de-comunicacionesviasatelite2>

- *Modulador de frecuencia intermedia*

La señal que el usuario quiere enviar se denomina señal en banda base.

Esta señal se envía a un Modulador de Frecuencia intermedia (IF) que convierte esta frecuencia en banda base a una intermedia a través de los distintos tipos de modulación como pueden ser en frecuencia (FM), en fase (PSK) o en amplitud y fase (QAM).

- *Filtro de paso de banda*

La señal obtenida se hace pasar por un filtro de paso de banda con el objetivo de eliminar componentes de la frecuencia innecesarios.

- *Up Converter*

Posteriormente se eleva la frecuencia de la señal de frecuencia intermedia (MHz) a frecuencia radio (GHz) con la ayuda de un mezclador y de un generador de microondas de frecuencia de enlace ascendente.

En este punto se hace pasar la señal por otro filtro de paso de banda para eliminar todas aquellas componentes de frecuencia residuales.

- *Amplificador de potencia (High Power Amplifier)*

Finalmente esta señal se amplifica para que sea capaz de llegar al satélite.

- *Antena Transmisora*

Cuya finalidad es la de emitir la señal originada en la estación de transmisión al satélite.

2.2.2. Transpondedor

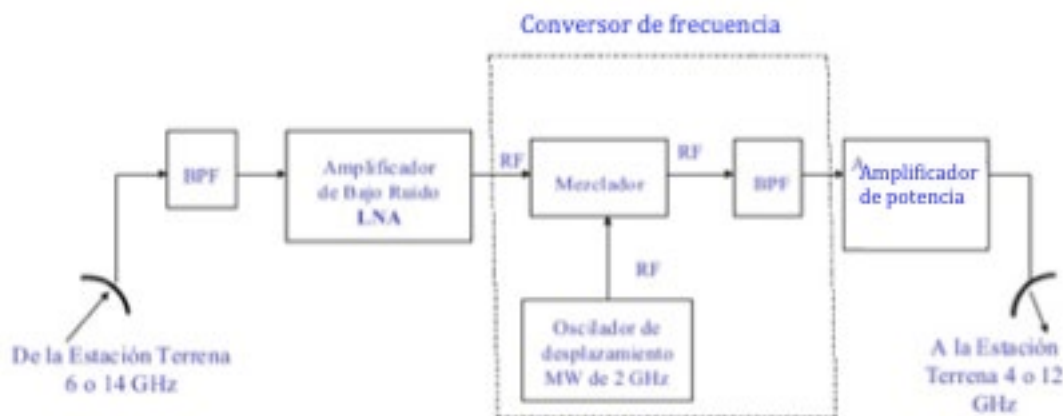


Figura 3. Diagrama de bloques del transpondedor⁴.

⁴ Fuente: <https://es.slideshare.net/jeysonezrt/sistema-de-comunicacionesviasatelite2>

Es un dispositivo utilizado en telecomunicaciones, localizado en el satélite y cuyo propósito es el de recibir la señal de la estación emisora, amplificarla y transmitirla en una frecuencia distinta a la recibida.

El transpondedor dispone de las siguientes secciones (Figura 3):

- *Antena receptora*

La antena recibe la señal tal y como se envía por el enlace ascendente.

- *Filtro de paso de banda*

Esta señal se hace pasar por un filtro de paso de banda para eliminar aquellas perturbaciones que hubieran podido surgir en la emisión.

- *Amplificador de bajo ruido*

El amplificador de bajo ruido (LNA) permite amplificar la señal manteniendo bajo el ruido.

- *Convertidor de frecuencias⁵*

Este dispositivo traslada la frecuencia de la señal de entrada a la que llevará a su salida. Esto se hace con el propósito de evitar interferencias entre ambas señales.

Posteriormente esta señal se pasará nuevamente por un BPF.

- *Amplificador de potencia*

Finalmente, la señal se hace pasar por un amplificador de potencia para que esta sea capaz de llegar a superficie minimizando las perturbaciones sufridas por la señal.

Este amplificador de potencia está compuesto por un amplificador de baja potencia (LPA) cuya misión es la de amplificar una potencia de señal muy tenue para posteriormente hacerla pasar por el HPA.

- *Antena transmisora*

Cuya misión es transmitir la señal recibida por el sistema, una vez ha sido trabajada para ser enviada de forma idónea, a una estación receptora (estación terrena).

- ⁵ Para conseguir ventajas como un menor tamaño de antena, una reducción del coste energético y para evitar las interferencias entre la señal ascendente y descendente. Esta diferencia entre frecuencia de entrada y de salida, denominada Delta, varía en función de la banda en la que opere el satélite. Esta diferencia es de aproximadamente 0.5 GHz en la banda X (banda de interés en las telecomunicaciones satélite militares).

2.2.3. Enlace descendente o Downlink

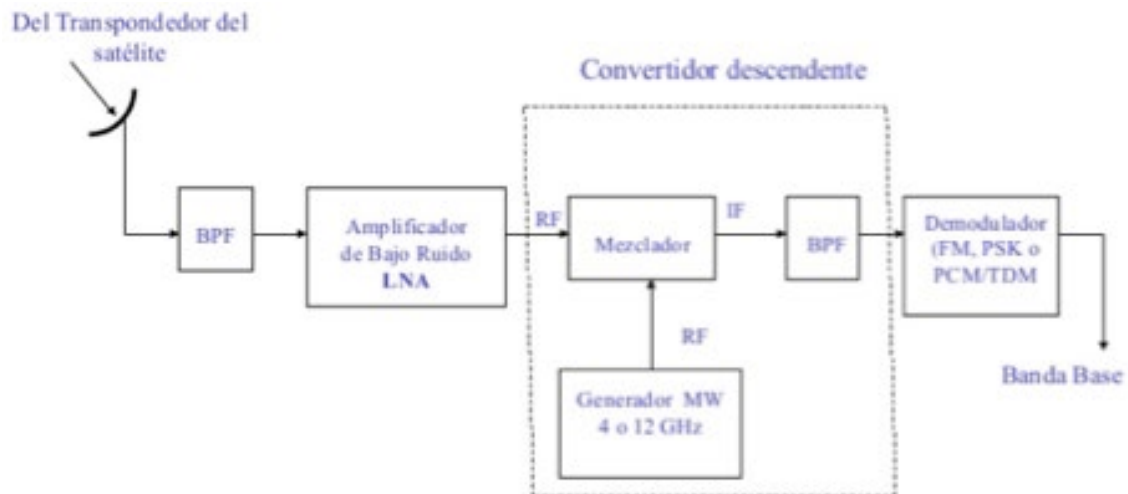


Figura 4. Diagrama de bloques del enlace descendente o Downlink⁶.

En este último tramo la señal es enviada a una estación terrena donde se procesa para la obtención de su información. (Figura 4)

- *Antena receptora*

La antena receptora recibe la señal que envía la transmisora de la sección anterior.

- *Filtro de paso de banda*

Esta señal nuevamente se hace pasar por un BPF que elimine las componentes frecuenciales no deseables que hayan podido surgir.

- *Amplificador de bajo ruido*

Posteriormente esta señal se pasa por un LNA para amplificarla.

- *Down Converter*

En este punto la señal de radiofrecuencia (GHz) amplificada se transforma en una señal de frecuencia intermedia (MHz) con la ayuda de un mezclador y de un generador de frecuencias de microondas de enlace descendente.

- *Demodulador de frecuencia intermedia*

Posteriormente un demodulador de frecuencia intermedia convierte esta frecuencia a una en banda base. Esta señal en banda base tiene la misma forma que la que fue enviada por el usuario al transpondedor por el *Uplink*.

⁶ Fuente: <https://es.slideshare.net/jeysonezrt/sistema-de-comunicacionesviasatelite2>

Centro de Control

Todos los satélites, ya sean de comunicaciones, observación o navegación, necesitan un segmento terreno de control que permita inicialmente la colocación en órbita y posteriormente la monitorización durante la vida útil del satélite.

Los centros de control llevan a cabo el control orbital de los satélites teniendo capacidad para operarlos.

Entre otras funciones realizan la recepción de telemetría, envío de comandos, envío de tonos para localización, cálculo de órbitas, planificación y ejecución de operaciones y pruebas en órbita.

Los Centros de Control también realizan funciones de Centro de Operación de redes, gestionando la capacidad de los satélites, dando soporte a los clientes, monitorización de señales, detección de interferencias y resolución de anomalías, así como la operación de plataformas digitales para la prestación de servicios de banda ancha por satélite a clientes y proveedores de servicios.

En España se encuentran los centros de control de Arganda (Madrid), donde el SPAINSAT dispone de una antena de 16,4 metros de diámetro en bandas X y S y una de 6.3m. de diámetro en Maspalomas (Gran Canaria) con capacidad de trabajo en las mismas dos bandas.

Estaciones

Una estación terrestre o terrena es una estación de radio terrestre de telecomunicaciones para la retransmisión de distintos servicios como voz y datos vía satélite.

Un puerto de comunicaciones o telepuerto es una estación terrestre satelital que funciona como un centro que conecta una red satelital con una red de telecomunicaciones terrestre.

En España destacamos la Estación de Anclaje (EAN) de Bermeja operada por la Armada y la de Torrejón, a cargo del Ejército del Aire.

Destacar de las EAN que en los enlaces vía Sistema Español de Comunicaciones Satélite (SECOMSAT) con el Sistema de Comunicaciones Tácticas Militares (SCTM) las comunicaciones satelitales pasan necesariamente por estas estaciones antes de llegar al terminal satélite receptor.

2.3. Ventajas e inconvenientes

A continuación va a mostrar las bondades más relevantes que proporciona el uso de terminales satélite así como sus contraprestaciones [6].

2.3.1. Ventajas

- La comunicación vía satélite proporciona un medio flexible para el uso de las comunicaciones en cualquier escenario y/o situación táctica, ambiente bélico inclusive debido a no requerir equipos estáticos o redes permanentes susceptibles de sufrir ataques que interrumpan su actividad o que las destruyan.
- Su uso en catástrofes naturales es especialmente útil donde las condiciones meteorológicas puedan impedir el correcto funcionamiento de las comunicaciones.
- Permiten el enlace sin necesidad de una infraestructura de comunicaciones local en aquellas zonas remotas o despobladas en las que no sea rentable montarla.
- Proporcionan una amplia cobertura llegando en algunos casos a ser global.
- Acoplando cifradores externos es posible disponer de un sistema de comunicaciones flexible y seguro.

2.3.2. Desventajas

- Las reparaciones, debido a la complejidad de los sistemas, requieren, en caso de ser viable, mano de obra civil.
- Ofrecen un reducido ancho de banda comparado con otros sistemas de comunicación.
- Sensibles a los hidrometeoros que pueden atenuar las señales.
- En caso de disponer de un satélite gubernamental, los costes de puesta en órbita son muy elevados.
- Si no se dispone de un satélite el coste de utilización del servicio resulta muy elevado (coste por minuto o coste por Mb).
- Mayores latencias comparado con otros sistemas de transmisión debido al gran recorrido de la señal.
- Los satélites requieren monitoreo regular para comprobar que permanecen en la órbita.
- Su uso está sujeto a la disponibilidad del ancho de banda del satélite, pudiéndose producir la circunstancia en la que sea necesario el enlace pero no haya capacidad para materializarse.

Capítulo 3. Terminal Asturias de Brigada



Figura 5. Terminal satélite Asturias/B desplegado⁷.

El Terminal Satélite militar Asturias/B (Figura 5) está formado por un terminal de comunicaciones ligero TLX-100, una centralita telefónica, un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) y un grupo electrógeno además de una segunda cadena de banda base para poder utilizar una centralita de Red Básica de Área (RBA).

El sistema completo permite la recepción y transmisión de forma simultánea de dos portadoras, una de las cuales llevará a cabo las mismas funciones que los terminales tácticos SECOMSAT (voz y datos) mientras que la segunda se dedicará a una trama para la central RBA.

⁷ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

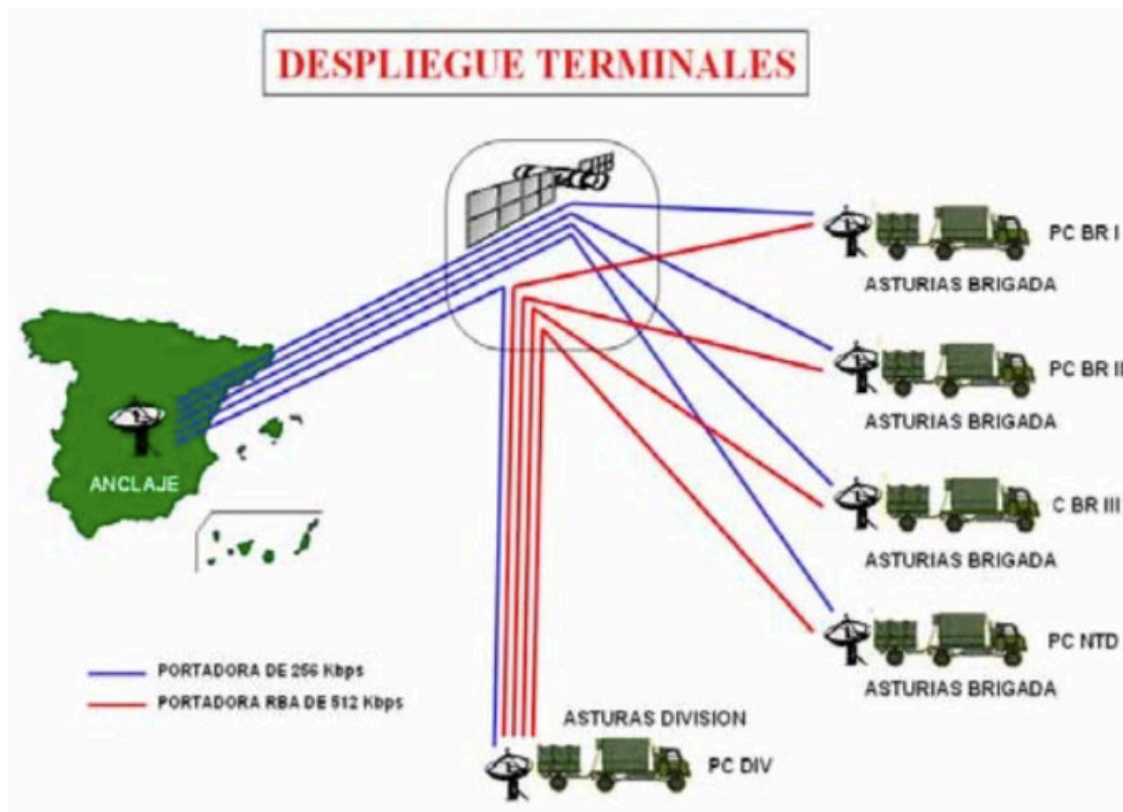


Figura 6. Salidas que proporciona un terminal Asturias/B atendiendo a la trama utilizada. Representada en rojo la trama RBA y en azul la trama SECOMSAT⁸.

3.1. Características del sistema

- En el espacio España dispone de dos satélites geoestacionarios.
- El SPAINSAT (30° O) y XTAR-EUR (29° E) siendo el primero de ellos el principal y el segundo quedando en situación de la reserva.
- Son satélites de comunicaciones gubernamentales con capacidad de trabajar en diversas bandas de frecuencias entre 2-14 GHz. De estas bandas la que más interesa es la banda X teniendo el satélite SPAINSAT doce transpondedores en banda X y uno en banda Ka. El XTAR-EUR dispone de doce transpondedores en banda X.
- El SPAINSAT cuenta con dos haces globales, dos fijos y cinco orientables que pueden ser fijados a un área determinada. Por otro lado el satélite XTAR-EUR dispone de dos haces globales, uno fijo y cuatro orientables que también pueden ser fijados.
- Cada satélite es capaz de proporcionar 1000 MHz de ancho de banda [7].

⁸ Fuente: Imagen extraída de [2].

3.2. Capacidades

- El sistema ofrece un ancho de banda en transmisión de 7,9-8,4 GHz y de 7,25-7,75 GHz en recepción.
- 1 enlace troncal vía SECOMSAT que ofrece una velocidad de transmisión de hasta 256 kb/s.
- 1 enlace troncal hacia RBA con una velocidad de transmisión de 512 kb/s (Figura 6).
- 8 canales analógicos con SCTM y RTC vía SECOMSAT.
- 4 canales de datos con SCTM o RTC vía SECOMSAT.
- 4 accesos para abonados internos digitales (2 libres + FC+ Operador).
- 12 accesos de abonados analógicos externos (configuración máxima de empleo).

El sistema permite la utilización de hasta 8 teléfonos por la trama SECOMSAT. Este número puede verse aumentado en 32 terminales más por medio de la centralita telefónica BP-250 [1].

3.3. Funcionamiento

Trama SECOMSAT

El camino de la señal en un Terminal satélite militar Asturias/B no es distinto al explicado con anterioridad exceptuando las peculiaridades inherentes a un sistema de comunicaciones militar [1], de entre las cuales destaca el paso de la señal por la Estación de Anclaje (EAN).

La señal procedente de la antena de transmisión la recibe un satélite que la reenvía a la EAN. Posteriormente se transmite la señal de nuevo a un satélite donde ya podría ser enviada a la estación terrena.

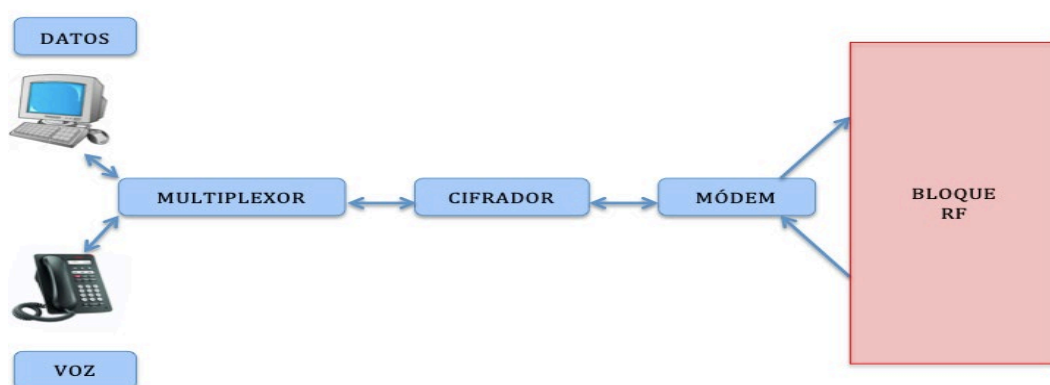


Figura 7. Camino de la señal (Trama SECOMSAT)⁹.

⁹ Fuente: Elaboración propia.

Camino de recepción la señal en un enlace por la trama SECOMSAT.

Tal y como se aprecia en la figura 7, la señal que llega a la antena procedente del satélite o *Downlink* pasa en primera instancia por un filtro de rechazo de banda de emisión por medio de una guía de ondas WR 112 previo al amplificador de bajo ruido (LNA). Este filtro tiene por finalidad rechazar aquellas frecuencias situadas en la banda de emisión (7.9-8.4 GHz) para evitar interferencias entre las señales emitidas y las recibidas. A la salida del LNA la señal llega al *Down Converter* a través de un cable coaxial tipo N donde verá su frecuencia trasladada desde la banda de recepción (7.25- 7.75 GHz) hasta una frecuencia intermedia (70 ± 20 MHz). Esta señal llega al módem (Paradise 300) para ser demodulada a través de un cable coaxial tipo N, la cual es devuelta a su frecuencia original en banda base con la que el sistema puede trabajar.

El módem está diseñado para operar vía satélite “full dúplex” con modulación QPSK o BPSK cuyo propósito es demodular las señales de frecuencia intermedia para proveer señales digitales que puedan contener voz y datos.

El camino recorrido por la señal en transmisión es idéntico al descrito, con la salvedad de que la información entra al sistema al sistema a través de los terminales de voz y datos y sale por la antena.

- La codificación por desplazamiento de fase (PSK) es un proceso de modulación digital que transmite datos cambiando (modulando) la fase de la onda portadora con frecuencia constante.
- Clave binaria por desplazamiento de fase o BPSK utiliza dos fases que están separadas 180° . Solo puede modular a un bit por símbolo por lo que no es adecuado para aplicaciones de gran velocidad de datos.
- La modulación por desplazamiento de fase en cuadratura o QPSK usa cuatro fases y permite modular dos bits por símbolo, esto supone que el QPSK tiene el doble de eficiencia en ancho de banda que un sistema BPSK.

Posteriormente la señal pasa por un cifrador (EP210) que ofrece un conjunto de servicios de seguridad en comunicaciones síncronas de hasta 256 kb/s . Al establecer el enlace comienza el protocolo de entrada en cifra, donde ambos equipos (multiplexor y módem) negocian la clave para cada sentido de la comunicación.

Por último, la señal pasa por el multiplexor (AP-100) donde se demultiplexa. Éste es un equipo modular que acepta una única entrada (combinación de voz y

¹⁰A partir de ahora se denominará Bloque Radiofrecuencia (RF) al compuesto tanto por *Up-Down Converter*, el *Up-Downlink* y por la antena para ambos sentidos de la comunicación.

datos) dando como resultado varias salidas (voz y datos separados) en un medio de transmisión compartido y viceversa (demultiplexación/ multiplexación).

Este equipo admite múltiples configuraciones entre puertos de voz y datos, siendo la velocidad máxima de trabajo entre todos ellos como conjunto de 256 kb/s.

A la salida del multiplexor ya sería posible dar el servicio tanto telefónico, a través del cuadro de conmutación telefónico, como de datos a través de las unidades de módems de canales de datos o *Black Box*.

La finalidad de estos *Black Box* es prolongar la distancia a la que se coloca un terminal de datos hasta un máximo de un kilómetro.

En el caso en el que la estación actuase como transmisor, el proceso es idéntico pero en sentido inverso.

- **Trama RBA**

La Red Básica de Área fue el sistema de comunicaciones tácticas del Ejército de tierra Español.

Este sistema está compuesto por estaciones vehiculares, que convenientemente agrupadas, constituyen la infraestructura de comunicaciones en el campo táctico de las grandes unidades.

Está estructurada como un sistema mallado y seguro de centros nodales (estaciones) unidos entre sí por radioenlaces cubriendo el área de operación de la gran unidad a la que sirve, desplegada en el terreno en función de su topología y proporcionando los servicios que requieren los puestos de mando de las Pequeñas y Grandes Unidades con independencia de la localización física de los usuarios.

La red es gestionada por los principios de la norma EUROCOM D/0. Existe un elemento de control de centro denominado *Facility Control* (FC) que se encarga de la gestión y supervisión de cada nodo y a su vez existe un elemento de planificación, mando y control denominado *SEP/OSC* (Funcionalidad, Planificación, Control y Supervisión EUROCOM), que se encarga de la gestión total de la red.

A diferencia de la trama SECOMSAT donde los terminales Asturias/B pueden enlazar con la SCTM por vía SECOMSAT de forma autónoma, esto no es así a través de RBA. Las estaciones Asturias/B entendidas como aquello que le proporciona capacidades satélite a las unidades de tipo Brigada precisan de las estaciones Asturias de División (Asturias/D) para enlazar con el escalón superior (unidades de tipo División).

Tal y como se observa en la Figura 7, el terminal Asturias/D tiene capacidad para 4 enlaces RBA simultáneos, uno por unidad subordinada.

Por tanto el camino de la señal en un enlace RBA ha de ser entre estas dos estaciones, siendo esto irrelevante en términos de electrónica de red por ser esta la misma.

Camino de la señal en un enlace por la trama RBA

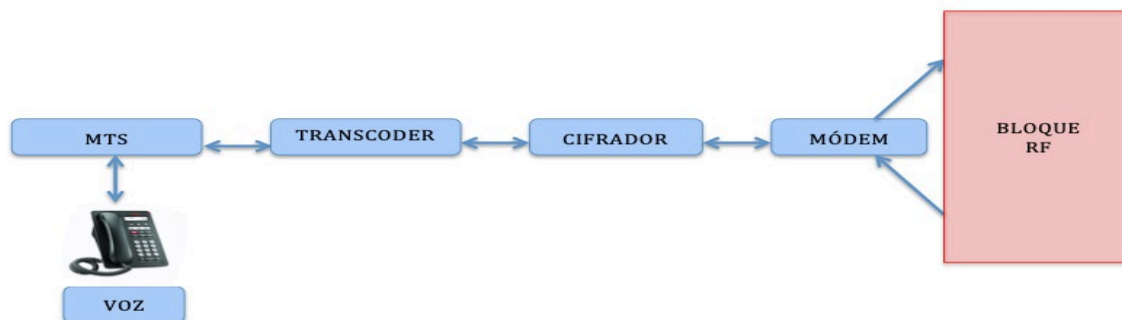


Figura 8. Camino de la señal (Trama RBA)¹¹.

La primera diferencia que se aprecia en la Figura 8 respecto a la Figura 7 (trama SECOMSAT) es el hecho de no introducir la posibilidad de envío de datos a través de RBA. Esta trama permite el envío de datos de hasta 16 kb/s, limitando esto a reducidos archivos de texto; lo cual en la práctica supone la no utilización de esta capacidad¹².

La información de voz (TA-359) llega al conmutador modular táctico (MTS), cuya función no es únicamente la de dar acceso a la RBA a sus abonados, sino que también sirve de central de tránsito, haciendo llegar de este modo la voz al transcodificador.

Dentro de las características técnicas del MTS destacamos su interoperabilidad con redes públicas y estratégicas y su capacidad para la transmisión de voz, datos y fax entre otros.

El *Transcoder* permite conectar el puerto del MTS al cifrador (EP-250B). Esto lo consigue cambiando el protocolo de comunicaciones del sistema de RBA (AMI) al protocolo utilizado en la trama SECOMSAT (RS-449).

Posteriormente esta señal llega al cifrador. Este es un cifrador en bloque con capacidad de cifrar datos síncronos hasta 2.048 kb/s. Un cifrador por bloques es aquel que opera con agrupaciones de bits de longitud fija denominados bloques. De este modo, el EP250B envía la señal codificada al módem y en claro al *Transcoder*.

Finalmente, una vez la señal alcanza al módem sufre los mismos procesos descritos con anterioridad tanto para su transmisión como recepción.

¹¹ Fuente: Elaboración propia.

¹² Esta ínfima capacidad es causada por el conmutador modular táctico (MTS). Dada la motivación de sustraer este elemento de la trama RBA surge el planteamiento de este proyecto.

Capítulo 4. Validación de pruebas de enlace

En el marco de lo anteriormente expuesto, se plantea la viabilidad del uso de la trama RBA de 512 kb/s de los terminales Asturias/B para su aprovechamiento en enlaces intrateatro IP tácticos.

Para valorar si el enlace es exitoso se valorarán los siguientes apartados:

- El tiempo requerido para el establecimiento del enlace¹³.

Que no ha de ser superior al tiempo requerido para establecer el enlace convencional vía RBA. El personal ha de ser capaz de montar el terminal en no más de 20 minutos y este ha de ser operativo en menos de 30.

- La capacidad de las estaciones para entrar en sincronía.

Será requisito necesario, que no suficiente, que entren en sincronía tanto los cifradores como los módems; esto será indicativo de que una estación recibe lo que transmite su análoga y viceversa.

- La capacidad del comando ping para llegar al cliente análogo en el extremo opuesto del sistema.

Esto será lo que determine si se ha logrado o no establecer un canal de comunicación entre ambos clientes.

4.1 Montaje del experimento

Debido a los contratiempos devenidos¹⁴ se han llevado a cabo dos enfoques distintos y por ende dos formas distintas de determinar la validez del enlace.

La elaboración y montaje de estas pruebas se ha desarrollado íntegramente durante la estancia en la unidad (BCG XVI), siendo la primera de ellas ejecutada del día 5 al 9 de octubre y del día 12 al 16 del mismo mes la segunda; coincidiendo con la última semana de las Prácticas Externas.

¹³ Contemplando la eventualidad de un enlace viable pero poco práctico por requerir un tiempo excesivo.

¹⁴ Las circunstancias expuestas en el resumen supusieron que el acceso a satélite fuera de la mitad del tiempo planeado, esto planteó la necesidad de diseñar un nuevo banco de pruebas prescindiendo de este elemento satélite.

4.1.1. Primera prueba

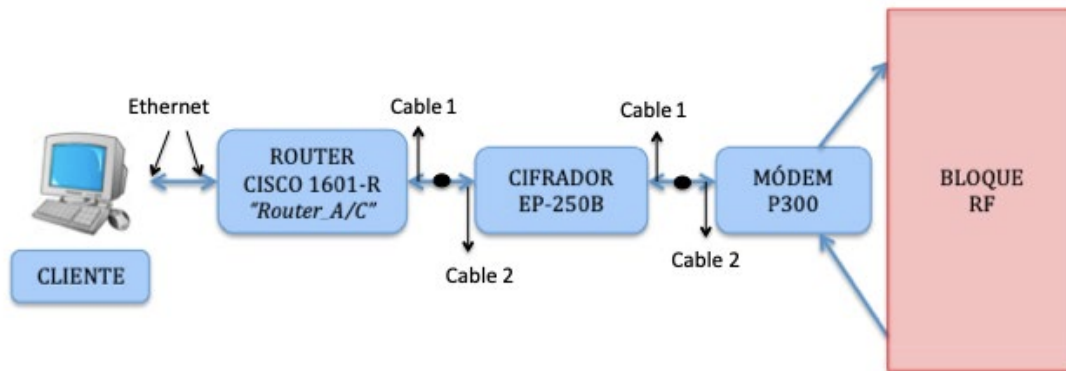


Figura 9. Diagrama de bloques del montaje de un Asturias/B para la primera prueba.¹⁵

Previo a la realización de la misma, se ha elaborado un estudio destinado a identificar que elementos de esta trama RBA impiden, a priori, este tipo de enlace.

Del estudio se extraen las siguientes conclusiones:

- La estación Asturias es un terminal satélite militar que no tiene medios que le permitan para trabajar con IP.
- La velocidad¹⁶ de trabajo máxima admisible por la MTS hace suponer que en la práctica sea inviable el flujo de datos [8].
- El cifrador EP-250B permite velocidades de trabajo de hasta 2Mb/s a pesar de solo hacerlo a 512kb/s por la limitación que presenta el MTS.
- El resto de elementos en la electrónica de red (cifrador y modem) no presentan impedimentos para operar con IP porque son transparentes a la misma.

Tras esta información identificamos las siguientes necesidades y requerimientos para el desarrollo de la práctica (Figura 9):

- Se precisa de un router a cada lado con su correspondiente configuración (Apéndice B). Estos router han de disponer de una interfaz Serial que los comunique con los cifradores así como una interfaz Ethernet que haga lo propio con el cliente.
- Es necesario retirar de la instalación los MTS. Esto permite retirar también los *Transcoder* cuya presencia solo está justificada junto al MTS.
- Se requieren los cifradores de la trama RBA (EP-250B) configurados (Apéndice C) a cada lado para securizar la comunicación.

¹⁵ Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ 16 kb/s para datos.

- Cableado que permita interconectar el sistema. Dos juegos de cable, compuesto cada uno de ellos por los siguientes (Apéndice A. Figuras 14-15):
 - Cable 1: Cable STANDARD DTE CISCO
 - Disponiendo de una interfaz Serial para el router a Winchester macho.
 - Cable 2: Cable STANDARD BlackBox- Router
 - Este cable, con un conector Winchester hembra para enlazar con el cable anterior, será el que se conecte a la interfaz DTE del cifrador
- Una Solicitud de Acceso Satélite (SAS) para realizar las pruebas.



Figura 10. Montaje de la primera prueba en el terminal Asturias/B¹⁷.

Resultados y conclusiones

Durante la semana destinada a la obtención del enlace se evidenció la capacidad del personal para montar el terminal con la nueva configuración (Figura 10) en un plazo de tiempo inferior a ese techo de 20 minutos.

Sin embargo este fue el único requerimiento que pudieron satisfacer las pruebas; los problemas encontrados fueron los siguientes:

1. Dificultad para encontrar la frecuencia de baliza.

Con la finalidad de facilitar el apuntamiento de las antenas al satélite, el SPAINSAT (30° O) emite una frecuencia denominada “baliza” que permite a los terminales identificar cuando la antena está correctamente apuntada.

¹⁷ Imagen tomada en el BCG XVI.

Desde el emplazamiento desde donde se encontraban las antenas, este apuntamiento era de 53° en elevación y 211° en azimut o deriva.

El procedimiento habitual reside en, una vez realizado el apuntamiento de la antena, efectuar un leve barrido hasta que el terminal constate que la antena se encuentra correctamente orientada.

Este proceso que acostumbra a ser rápido (no superior a 10 minutos por personal instruido) llevo dos días completos. El personal empeñado en ello, compuesto de dos cabos con 20 y 9 años de experiencia respectivamente, proporcionó las siguientes explicaciones al inconveniente:

- Interferencias en la señal debido a la meteorología (dada la semana atípica de lluvias).
 - El estado de los terminales que, como se ha comentado anteriormente, las antenas acostumbran a proporcionar una cuarta parte de la ganancia de la que disponen según manual.
 - Intensidad tenue de la frecuencia de baliza que propicia este tipo de inconvenientes.
 - Error humano.
2. Incapacidad de los grupos electrógenos para satisfacer las necesidades de la estación con la electrónica de red complementaria.

Una vez solventado, en las últimas horas del tercer día de pruebas se consiguió con éxito el apuntamiento de las antenas obteniendo una ganancia en recepción de 10.3 dB y de 12.7 dB en emisión¹⁸.

Una vez conectados todos los terminales a la red se vino abajo el enlace.

Esto resultó ser debido a que estos terminales requieren de grupos electrógenos de 12 kVA¹⁹ y no de 7.5 kVA, a pesar de ser este último tipo el que aparece en el manual [9].

Por ello se hizo una solicitud de dos grupos electrógenos de 12 kVA para poder alimentar las estaciones de forma apropiada. Esta solicitud se materializó dos días más tarde, siendo este día, el viernes 9, el último de la semana para la obtención de material concluyente.

¹⁸ Valores que a pesar de su reducida magnitud no deberían presentar impedimento en la obtención del enlace.

¹⁹ Kilovoltiamperio, que designa la potencia de un dispositivo con características inductivas cuando trabaja con corriente alterna.

3. Imposibilidad de sincronización de los dispositivos.

Una vez montados los equipos se evidenció un fallo en la sincronía tanto en los módems como en los cifradores, quienes en un circuito cerrado y correctamente configurado deberían sincronizarse sin problema alguno.

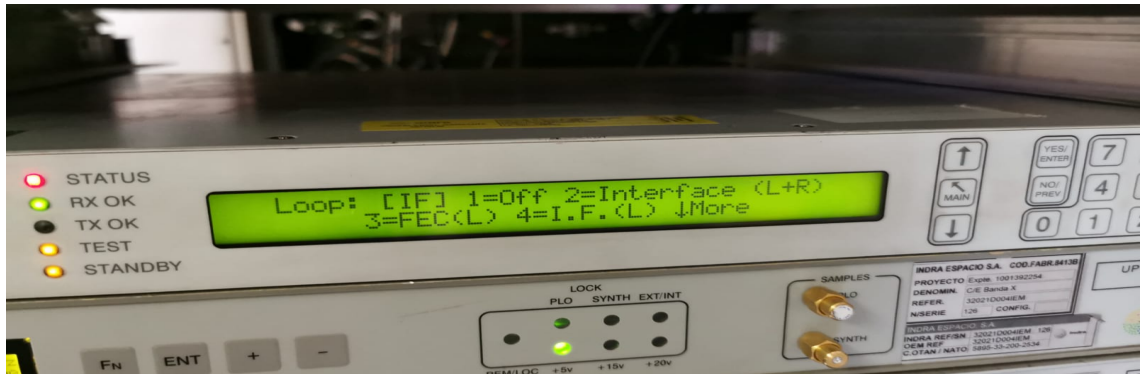


Figura 11. Display ofrecido por el módem durante la realización de un bucle local.²⁰

Ante esta eventualidad los módems disponen de una funcionalidad denominada bucle local (Figura 11).

Esta funcionalidad permite determinar si existe algún fallo tanto a nivel de configuración como físico entre el módem y el cifrador de un mismo terminal haciendo que ambos entren en sincronía.

En el caso de existir tal fallo, el cifrador no entrará en sincronía con su propio modem y para determinar la naturaleza del fallo se debe analizar el piloto correspondiente a STATUS en el display del módem.

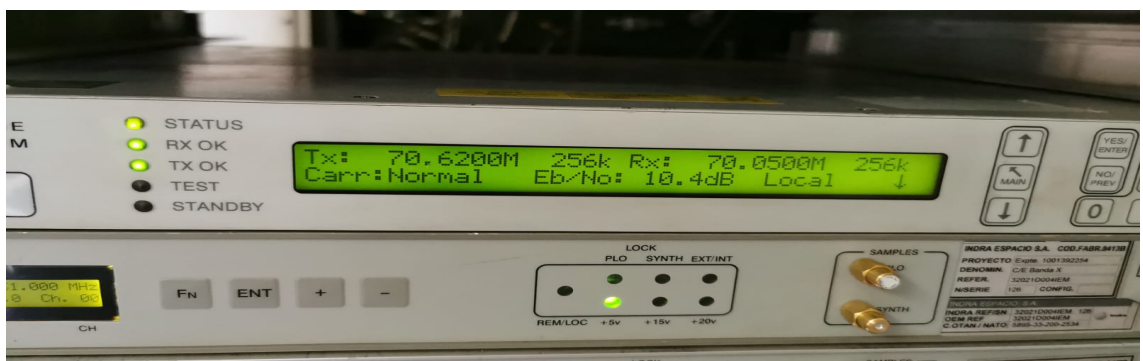


Figura 12. Display del módem con indicador en STATUS en verde.²¹

Esta luz, que si los dispositivos están correctamente configurados debería ser verde previamente (Figura 12), se volverá roja (Figura 11) si existe algún problema físico, es decir, existe algún tipo de avería en el cableado o en el conexionado de los elementos interconectados.

²⁰ Imagen tomada en el BCG XVI.

²¹ Imagen tomada en el BCG XVI.

Debido a la imposibilidad de disponer del satélite para la semana contigua (y última) hubo que diseñar una nueva prueba que permitiera comprobar la viabilidad del enlace obviando el segmento satélite.

Los éxitos obtenidos en la prueba supondrían un éxito en la primera dado que el enlace intrateatro no hubiera supuesto problemas añadidos.

4.1.2. Segunda prueba

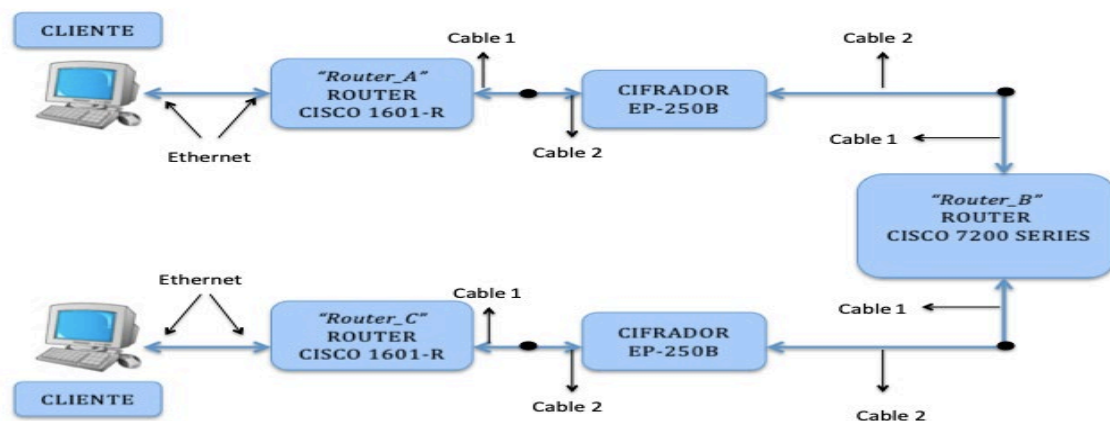


Figura 13. Diagrama de bloques de la prueba 2²².

Para esta segunda prueba se planteó la posibilidad de enlazar directamente los cifradores, prescindiendo del elemento satélite y de los módem (Figura 13).

Ello presenta un nuevo escenario que requiere de modificaciones tanto en el enfoque, parámetros que califiquen al enlace como satisfactorio y por descontado, cambios en la electrónica de red; destacamos:

- Dado que se han eliminado los modem de la ecuación, se requiere de un elemento²³ entre ambos cifradores conectado a la interfaz DCE de los mismos. La misión de este elemento será proporcionar un reloj que marque la sincronía.
- Se requiere material adicional:
 - Un router adicional el cual debe tener dos interfaces Serial que se utilizaran para el conexionado entre los cifradores.
 - Dos juegos adicionales de los cables 1 y 2 utilizados en la práctica anterior haciendo un total de cuatro juegos, es decir, ocho cables.
- Será necesario implementar un direccionamiento IP de las interfaces de los router y de los terminales con la finalidad de poder hacer un comando ping entre ellos para averiguar si efectivamente existe un canal entre ambos.

²² Fuente: Elaboración propia.

²³ De entre los elementos que pueden ser utilizados se diferencia una fuente reloj y un router, siendo este último el que será utilizado.

Resultados y conclusiones

El objetivo de esta segunda práctica consiste en ejecutar un comando ping entre ambos clientes de forma que se corrobore la posibilidad de establecer un canal a través de los elementos pertenecientes a la trama RBA que se rijan por IP.

Una vez estuvo montado el circuito, se evidenció, del mismo modo que ocurrió en la práctica anterior, la negativa de los cifradores para entrar en sincronía.

A pesar de ser conocedores de que la naturaleza del fallo de la práctica previa era de tipo físico se realizó una prueba con Packet Tracer (Apéndice B). Este es un programa ampliamente utilizado como ayuda al aprendizaje para el diseño, configuración y simulación de redes por Cisco.

En vista del resultado favorable de este ensayo se descarta así un fallo en la configuración de los elementos que componen el sistema.

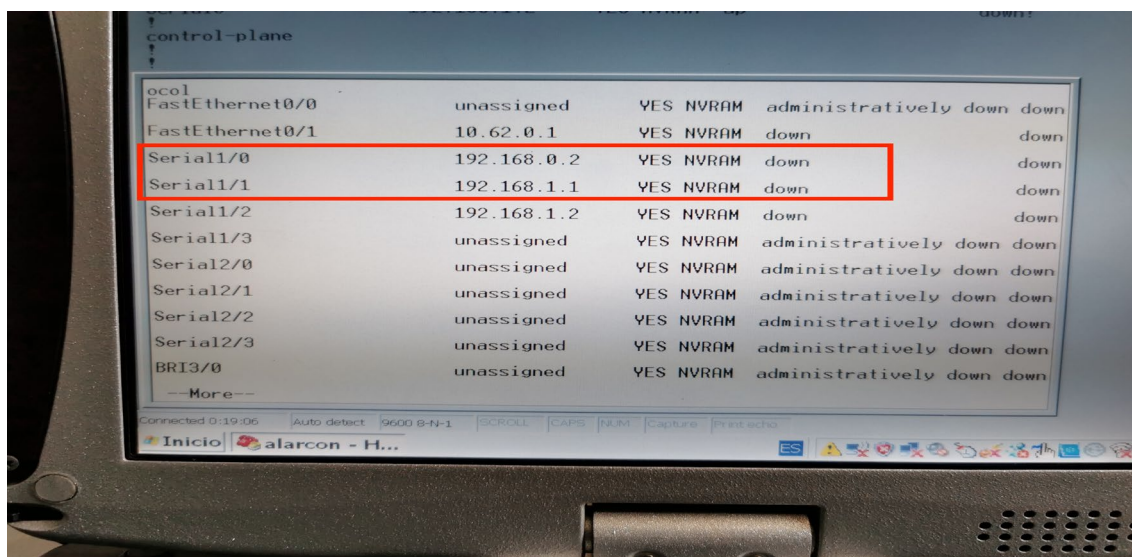


Figura 14. Display de Hyper Terminal mostrando las interfaces Serial caídas o down.²⁴

En un intento por descubrir la naturaleza del fallo se observó que las interfaces Serial del router que se unían en el otro extremo a la interfaz DCE de los cifradores estaban Down o caídas (Figura 14). Esto supone que el router no reconoce que tiene algo conectado a su interfaz Serial dando ello a entender que eran estos cables la fuente del error.

La respuesta lógica ante esto fue cambiar los cables de forma que, de confirmarse el mal funcionamiento de estos, aquellas nuevas interfaces a las que se conectaran dichos cables cambiaran su estado de Up a Down.

²⁴ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

Esto no ocurrió así, las interfaces que permanecían en estado Down, seguían siendo aquellas conectadas a la interfaz DCE de los cifradores, siendo ello indicativo de que el fallo no estaba en los cables sino en dicha interfaz DCE.

Para determinar la causa del error fue necesario recurrir a un suboficial, con empleo de sargento primero, de la especialidad fundamental de especialistas.

Su cometido en la unidad, gracias a sus 16 años de experiencia y sus amplios conocimientos técnicos, no era otro que el de ser esa persona de referencia a quien acudir cuando se desconocían las causas sobre el mal funcionamiento de un aparato o, en este caso, de cableado.

El sargento primero reveló que el error provenía del pineado de los cables.

Debido a que la interfaz DCE es la que proporciona la sincronía, el cableado correspondiente a ella debe disponer de un pineado concreto del que no se disponía en la unidad.

Tal y como se aprecia en la Figura 15²⁵, no todos los pines macho coinciden con un hembra; esto supone que se pierda información en la transmisión hasta el punto que la interfaz Serial de los router no reconoce la conexión dejando con ello el circuito abierto.

De acuerdo con la valoración del sargento primero especialista, el pineado requerido puede ser soldado en las UTRANS en menos de una hora a manos de personal cualificado²⁶.



Figura 15. Imagen del pineado utilizado durante las pruebas.

Por ello se concluye que a falta de tiempo y recursos y basándonos tanto en la opinión como experiencia del experto del CESTIC, estas pruebas deberían haber sido exitosas debido a no haber detectado problemas técnicos adicionales .

²⁵ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

²⁶ Cableado que se puede adquirir por internet a un precio de 56.08 €. Este se presenta con el cable por un lado y los pines sueltos por el otro de forma que el usuario pueda soldarlos acorde al enlace que pretende obtener [10].

Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro

En este último capítulo se presentan tanto las conclusiones obtenidas durante la realización del presente proyecto como las posibilidades que presenta de cara a próximas líneas de trabajo e investigación.

5.1. Conclusiones

Pese a no haber podido llegar a ningún resultado concluyente debido fundamentalmente a la escasez de personal y material que ha supuesto la preparación del ejercicio “TORO2020” y acrecentado por las circunstancias en las que está envuelto el país, el presente documento contiene, atestiguado por el experto consultado perteneciente al CESTIC, tanto el material como las configuraciones necesarias para que este enlace sea replicable en cualquier unidad.

A la luz de la información arrojada por este documento, se concluye:

- No fue posible la obtención de un enlace exitoso en ninguna de las dos pruebas debido a la incapacidad de disponer del cableado con el pineado adecuado.
- El montaje de la primera prueba, siendo este idéntico al que se deberá realizar para el establecimiento del enlace IP táctico intrateatro real y funcional se llevó a cabo dentro de esos 20 minutos que, según manual, es el tiempo máximo aceptable de montaje del terminal.
- Debido a la sencilla electrónica de red del sistema, el direccionamiento y el posterior enrutamiento así como su implementación en los router se puede efectuar en el tiempo de montaje del terminal.
- El enlace puede proporcionar hasta 1 Mb/s, lo que supone el doble de la velocidad que ofrece el mismo terminal con la configuración y electrónica de red actual²⁷.
- Debido a las limitaciones que plantea el satélite como la meteorología o la disponibilidad para acceder al mismo, se evidencia que su uso ha de ser complementario y no sustitutivo de los distintos medios de transmisión de información de los que disponen las UTRANS.

En definitiva, este nuevo modelo de enlace, que no requiere de una formación ni de un material ni específico ni de difícil disposición, abre la ventana a las unidades para obtener un enlace satélite rápido, flexible, fiable, que además permite transmitir y recibir información al doble de velocidad y el cual se puede obtener con terminales que ya están en las unidades y con gente instruida en su operación.

²⁷ 512 kb/s

5.2. Líneas de trabajo futuro

- Utilizando este proyecto como base, se podrían dar distintas líneas de trabajo, todas ellas con un gran interés para las UTRANS del ET.
 - En primer lugar, una vez obtenido el cable adecuado, la “CIATRANS16” podría utilizar los distintos elementos ya configurados que conforman cualquiera de las pruebas aquí presentadas y, con este documento a modo de guía, ratificar la hipótesis.
 - Utilizando la electrónica de red planteada en la primera prueba y sustituyendo el cifrador de la trama RBA por el EP-430 se podrían estudiar las posibilidades de estos terminales para enlazar con la red de comunicaciones militares IPC2, proporcionando así a las unidades la tecnología más actualizada en cuanto a enlaces IP. Esto permitiría a las unidades comunicar más, más rápido, y a un mayor número de usuarios a la vez que el número de estaciones requeridas en los despliegues se verían notablemente reducidas.
 - Este proyecto que puede ser puesto en práctica en las unidades sin destinar valiosos recursos en ello tanto materiales como de personal pasando por el tiempo a invertir puede ser el punto de partida para la estandarización I3D. Esta iniciativa pretende una estandarización en las telecomunicaciones satélite militares cuyo objetivo es reducir paulatinamente el uso de los multiplexores AP-100 o su alternativa Fleximux a favor del protocolo IP. Esto proporcionaría a las unidades una mayor interoperabilidad con sus equipos y además de agilizar, simplificaría el establecimiento de los enlaces al tiempo que posibilitaría otros como con la anteriormente mencionada IPC2.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

- [1] (MADOC), MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. 2008. *MI6-506. ESTACIÓN ASTURIAS DE BRIGADA*. Edited by Centro Geográfico del Ejército.
- [2] Ingeniería", "Las Fieras de la. 2014. "Las Comunicaciones Por Satélite Militares." 2014. <https://www.gtd.es/es/blog/las-comunicaciones-por-satelite-militares>.
- [3] "Sputnik, El Primer Satélite Que Hizo Despegar La Carrera Espacial Entre La URSS y Estados Unidos." 2017. BBC NEWS| MUNDO. 2017. <https://www.bbc.com/mundo/media-41503825>
- [4] Labrador, Virgil. n.d. "How Satellites Work." Britannica. <https://www.britannica.com/technology/satellite-communication/How-satellites-work>.
- [5] Campbell, Ashley. 2017. "How Do Satellites Communicate?" NASA. 2017. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_satellite_comm.html.
- [6] "Advantages and Disadvantages of Satellite Communication." n.d. FR Wireless World. <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-satellite-communication.html>.
- [7] HideSAT. n.d. "SPAINSAT." HideSAT/SPAINSAT. Accessed October 20, 2020. https://www.hisdesat.es/satelites_comunic-spainsat/.
- [8] (MADOC), MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. 2002. *MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MTS*. Tercera.
- [9] Indra. 2009. *MANUAL DE USUARIO. TERMINAL TÁCTICO TLX 2000*. 1st ed. Madrid: INDRA Espacio, S.A.
- [10] Cisco. n.d. "Cisco V.35 to DTE Cable." https://www.amazon.es/Marca-genérica-CAB-V35MT-72-0791-01-FT4-8839/dp/B01NASD1ZG/ref=sr_1_13?__mk_es_ES=ÅMÅŽÕÑ&dchild=1&keywords=cable+v.35&qid=1603279325&sr=8-13.
- [11] THE EUROPEAN SPACE AGENCY. 2020. "Types of Orbits." 2020. https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits#GEO.
- [12] Muñoz, Carlos Duarte. 2014. "Frecuencias de Comunicación Satelital." Agencia Espacial Mexicana. 2014. <http://haciaespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=209>.

Apéndice A. Relación de material

Para la elaboración de esta memoria, desde la fase de documentación hasta la realización de pruebas de enlace, se han utilizado íntegramente los medios disponibles en la unidad; a saber:



Figura 16. Imagen de la Biblioteca Virtual.²⁸

Los manuales del MADOC recogidos en la bibliografía han sido extraídos de la Biblioteca Virtual del ET (Figura 16).

²⁸ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

Los clientes utilizados de la marca Panasonic, mostrados en la figura 17²⁹, se han requerido tanto para la configuración de los router como para ejecutar el comando ping de un extremo del sistema a otro (2 unidades).



Figura 17. Cliente ruggedizado Panasonic Toughbook.

Cableado RJ45 (Figura 18³⁰) cuyo propósito ha sido interconectar a los clientes con los router por medio de su interfaz Ethernet (2 unidades).



Figura 18. Par de cables RJ45.

²⁹ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

³⁰ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

Router Cisco 1601 R (vista anterior) con su fuente de alimentación (Figura 19³¹).
(2 unidades de cada ítem)



Figura 19. Router Cisco 1601 R (vista anterior).

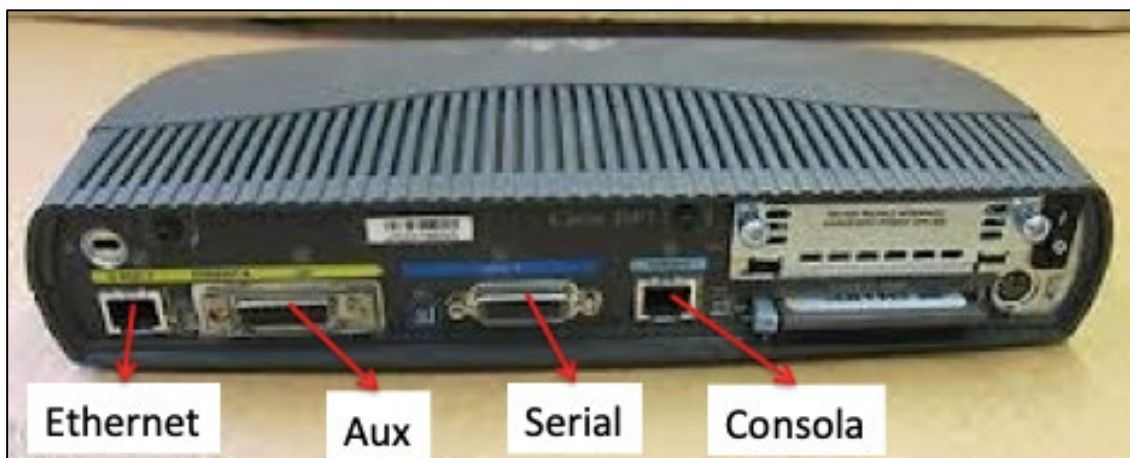


Figura 20. Router Cisco 1601 R (vista posterior)³².

Router Cisco 1601 R (vista posterior) donde se muestran sus interfaces (Figura 20).

- La interfaz Ethernet será la que le permita comunicarse con el cliente.
- La interfaz Serial será la que lo conecte con el cifrador.
- El puerto consola es el que permite configurar el router.

³¹ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

³² Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

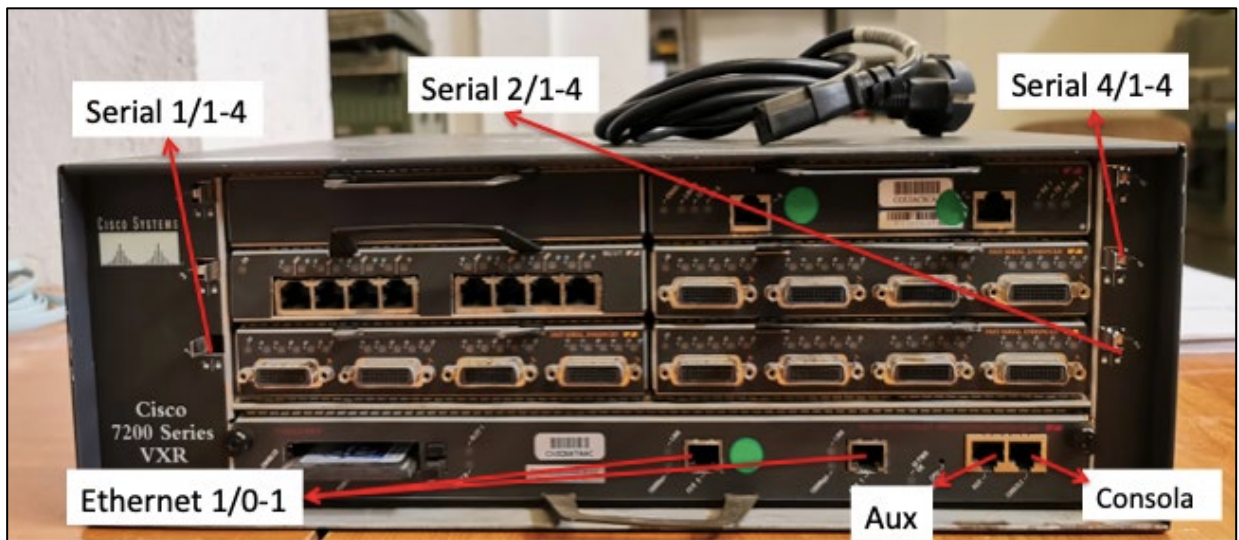


Figura 21. Router Cisco 7200 Series con cable de alimentación³³.

Router empleado como “Router_B” (Apéndice C) en ambas prácticas (Figura 21).

Este router, dado el gran número de interfaces que proporciona ha permitido el diseño y realización de la segunda prueba que con los router Cisco 1601 R no hubiera sido posible.

- Primera prueba
 - Su interfaz Ethernet facilitó su conexión con el cliente.
 - Su interfaz Serial permitió una salida hacia el cifrador.
- Segunda prueba
 - Haciendo uso de sus múltiples interfaces Serial, este router hizo las veces de fuente de reloj entre los cifradores. Esto supone que las interfaces Serial fueron conectadas al puerto DCE de los cifradores proporcionando así la sincronía entre ambos.
- El puerto consola del que dispone permite su configuración.

³³ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

Este cable, ilustrado en la figura 22³⁴, también denominado en el montaje como Cable 1 y en combinación con el Cable 2 es el que permite conectar un router con un cifrador siendo este el extremo que llega al router a su interfaz Serial.



Figura 22. Cable STANDTARD DTE Cisco.

Cable 2, en la figura 23³⁵, cuyo extremo Winchester se conecta con el Cable 1 y su extremo DB25 se conecta con el cifrador.



Figura 23. Cable STANDARD BlackBox-Router.

El cable consola, que no interviene directamente en el montaje pero es imprescindible para la configuración de los router (Figura 24³⁶).

Esta configuración, una vez diseñada se implementa en el router a través del programa Hyper Terminal instalado en los clientes.

El router ha de estar conectado al terminal a través de este cable consola por su puerto COM1.



Figura 24. Cable consola.

³⁴ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

³⁵ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

³⁶ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

Vista anterior del cifrador utilizado en la trama RBA, el EPICOM-250B, junto con su inyector de claves (Figura 25³⁷), necesario para realizar cualquier cambio en su configuración, y su cable de alimentación.



Figura 25. Cifrador EP-250B (vista anterior).



Figura 26. Cifrador EP-250B (vista posterior)³⁸.

Vista posterior del cifrador donde se muestran las interfaces del cifrador (Figura 26).

- Primera prueba
 - El cifrador se conecta al router a través de su interfaz DTE
 - Posteriormente, de su interfaz DCE sale un cable directamente al módem.
- Segunda prueba
 - El cifrador se conecta al router directamente interconectado con el cliente por su interfaz DTE.
 - A través de su interfaz DCE se interconecta con el router intermedio que proporciona la sincronía.

³⁷ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

³⁸ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

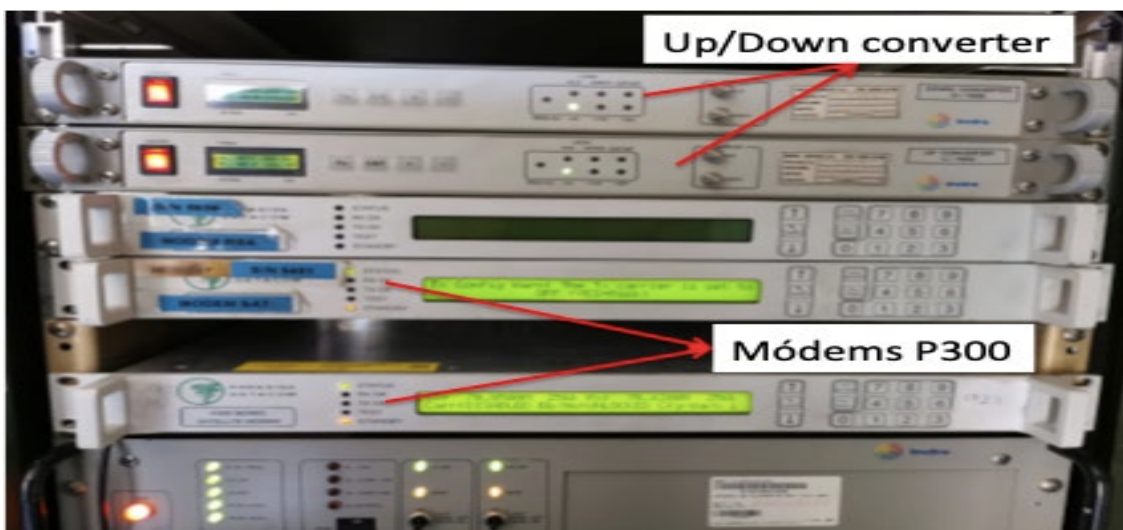


Figura 27. Módem Paradise 300 junto con el Up/Down converter³⁹.

Este material se encuentra dentro de la estación Asturias/B en el rack.

El módem P300 permite conectar el cifrador con el Up converter (en transmisión) y con el Down converter (en recepción) (Figura 27).



Figura 28. Terminal Asturias/B con su antena desplegada.⁴⁰

El Up/Down converter interconecta el módem con la antena (Figura 28).

³⁹ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

⁴⁰ Fuente: Imagen tomada en el BCG XVI.

Apéndice B. Prueba con Packet Tracer

Debido a la imposibilidad de sincronizar los cifradores en la segunda prueba, surgió la necesidad de corroborar que tanto el direccionamiento como el enrutamiento implementado era el correcto.

Para ello se ha utilizado la herramienta Packet Tracer. Este es un programa de diseño y gestión de redes desarrollado por la empresa Cisco el cual una vez instalado gratuitamente desde su página web permite acceder directamente a su contenido.

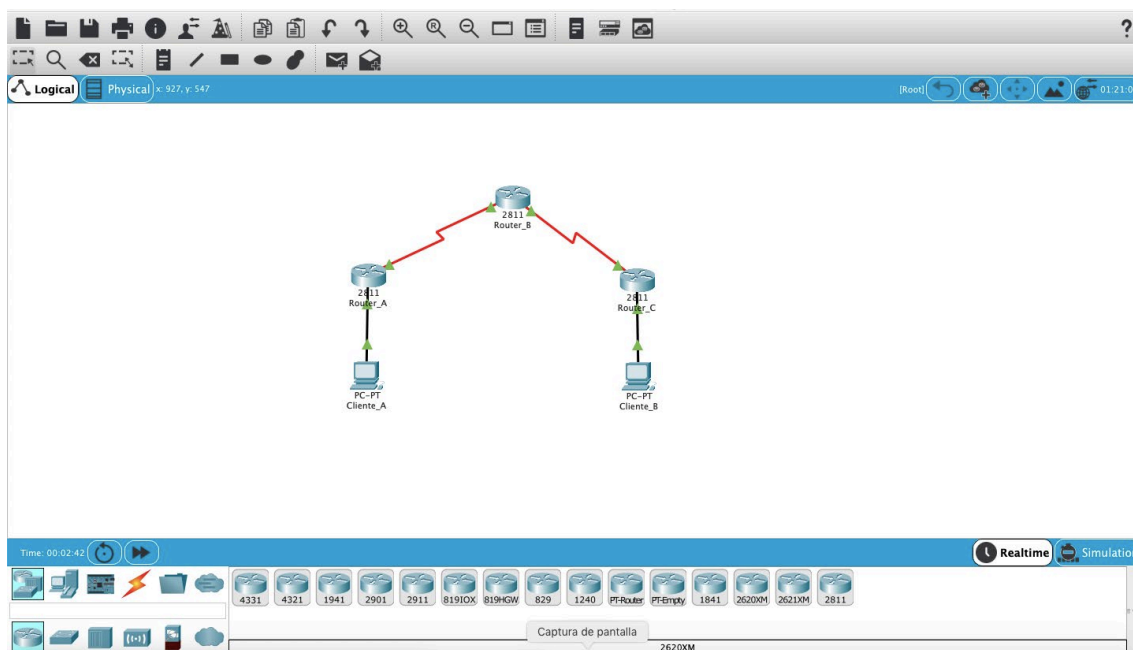


Figura 29. Esquema de red en Packet Tracer⁴¹.

Una vez implementado la electrónica de red correspondiente a la prueba 2⁴² (Figura 29), se procedió a la configuración de los distintos elementos, entre los que diferenciamos:

- Configuración de los clientes.
- Configuración de los router.

⁴¹ Fuente: Elaboración propia.

⁴² Obviando los cifradores por no poder ser representados en el programa.

- Configuración de los clientes.

Al igual que los clientes empleados en la prueba, del mismo modo que todos los demás, estos clientes también han de disponer de una dirección IP que los identifique unívocamente y que nos permita recurrir a ella para realizar el comando ping.

➤ Cliente_A

The screenshot shows a configuration window titled 'Cliente_A' with tabs for Physical, Config, Desktop, Programming, and Attributes. The 'Desktop' tab is active, displaying the 'IP Configuration' section. The 'Interface' is set to 'FastEthernet0'. Under 'IP Configuration', the 'Static' radio button is selected. The fields are filled with: IP Address: 10.63.0.2, Subnet Mask: 255.255.255.0, Default Gateway: 10.63.0.1, and DNS Server: 0.0.0.0. The 'IPv6 Configuration' section has 'Static' selected, with fields for IPv6 Address (empty), Link Local Address (FE80::20C:CFFF:FE09:6032), IPv6 Gateway (empty), and IPv6 DNS Server (empty). A '802.1X' section is partially visible at the bottom. A 'Top' button is located at the bottom left.

Figura 30. Configuración Cliente_A⁴³

⁴³ Fuente: Elaboración propia.

➤ Cliente_B

The image shows a software window titled 'Cliente_B' with a tabbed interface. The 'Desktop' tab is selected, displaying the 'IP Configuration' section. The 'Interface' dropdown is set to 'FastEthernet0'. Under 'IP Configuration', the 'Static' radio button is selected, with fields for IP Address (10.62.0.2), Subnet Mask (255.255.255.0), Default Gateway (10.62.0.1), and DNS Server (0.0.0.0). The 'IPv6 Configuration' section has 'Static' selected, with fields for IPv6 Address (empty), Link Local Address (FE80::202:4AFF:FE71:A850), IPv6 Gateway (empty), and IPv6 DNS Server (empty). A '802.1X' section is partially visible at the bottom. A 'Top' button is located at the bottom left of the window.

Cliente_B

Physical Config **Desktop** Programming Attributes

IP Configuration [X]

Interface FastEthernet0

IP Configuration

☐ DHCP ☒ Static

IP Address 10.62.0.2

Subnet Mask 255.255.255.0

Default Gateway 10.62.0.1

DNS Server 0.0.0.0

IPv6 Configuration

☐ DHCP ☐ Auto Config ☒ Static

IPv6 Address /

Link Local Address FE80::202:4AFF:FE71:A850

IPv6 Gateway

IPv6 DNS Server

802.1X

☐ Top

Figura 31. Configuración Cliente_B⁴⁴.

⁴⁴ Fuente: Elaboración propia.

- Configuración de los router

La configuración de los 3 router empleados en esta segunda práctica comprende el direccionamiento de las interfaces de los router así como el enrutamiento de las mismas.

Del mismo modo, la configuración de los dos router empleados en la primera práctica (Router A y Router C) es idéntica que la que en este apéndice se menciona.

El direccionamiento, es decir, la asignación de direcciones IP a las interfaces, se realiza mediante el comando *ip address (dirección ip)* una vez se ha accedido a la interfaz que corresponda mediante el comando *interface (interfaz correspondiente)*.

Para llevar a cabo el enrutamiento, que consiste en declarar las rutas a través de las cuales tiene que fluir la información, se requiere del comando *ip route* (*dirección de la red de destino, máscara de red dirección, ip del siguiente salto*⁴⁵)

➤ Router A

[illegible]

Figura 32. Configuración Router A⁴⁶.

⁴⁵ Por siguiente salto se denomina al puerto del próximo router al que ha de llegar la información en su ruta a el cliente final.

⁴⁶ Fuente: Elaboración propia.

➤ Router_B

```

IOS Command Line Interface

%LINK-5-CHANGED: Interface Serial0/2/0, changed state to up
%LINK-5-CHANGED: Interface Serial0/2/1, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/2/1, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/2/0, changed state to up

Router_B>enable
Router_B#show ip interface brief
Interface                IP-Address      OK? Method Status      Protocol
FastEthernet0/0          unassigned      YES unset  administratively down down
FastEthernet0/1          unassigned      YES unset  administratively down down
Serial0/2/0              192.168.0.2     YES manual up          up
Serial0/2/1              192.168.1.1     YES manual up          up
Vlan1                    unassigned      YES unset  administratively down down
Router_B#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
S      10.62.0.0 [1/0] via 192.168.1.2
S      10.63.0.0 [1/0] via 192.168.0.1
    192.168.0.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C      192.168.0.0/24 is directly connected, Serial0/2/0
C      192.168.0.1/32 is directly connected, Serial0/2/0
    192.168.1.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C      192.168.1.0/24 is directly connected, Serial0/2/1
C      192.168.1.2/32 is directly connected, Serial0/2/1
Router_B#

```

Figura 33. Configuración Router_B⁴⁷.

⁴⁷ Fuente: Elaboración propia.

➤ Router_C

```

IOS Command Line Interface

Copyright (c) 1986-2007 by Cisco Systems, Inc.
Compiled Wed 18-Jul-07 06:21 by pt_rel_team

Press RETURN to get started!

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
%LINK-5-CHANGED: Interface Serial0/2/0, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/2/0, changed state to up

Router_C>enable
Router_C#show ip interface brief
Interface                IP-Address      OK? Method Status        Protocol
FastEthernet0/0          10.62.0.1       YES manual up            up
FastEthernet0/1          unassigned      YES unset  administratively down down
Serial0/2/0              192.168.1.2     YES manual up            up
Serial0/2/1              unassigned      YES unset  administratively down down
Vlan1                    unassigned      YES unset  administratively down down
Router_C#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C      10.62.0.0 is directly connected, FastEthernet0/0
S      10.63.0.0 [1/0] via 192.168.1.1
    192.168.1.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C      192.168.1.0/24 is directly connected, Serial0/2/0
C      192.168.1.1/32 is directly connected, Serial0/2/0
Router_C#

```

Figura 34. Configuración Router_C⁴⁸.

⁴⁸ Fuente: Elaboración propia.

- Ejecución del comando ping

Una vez implementada la electrónica de red y la configuración de todos los elementos, se procede ejecutar el tantas veces mencionado comando ping.

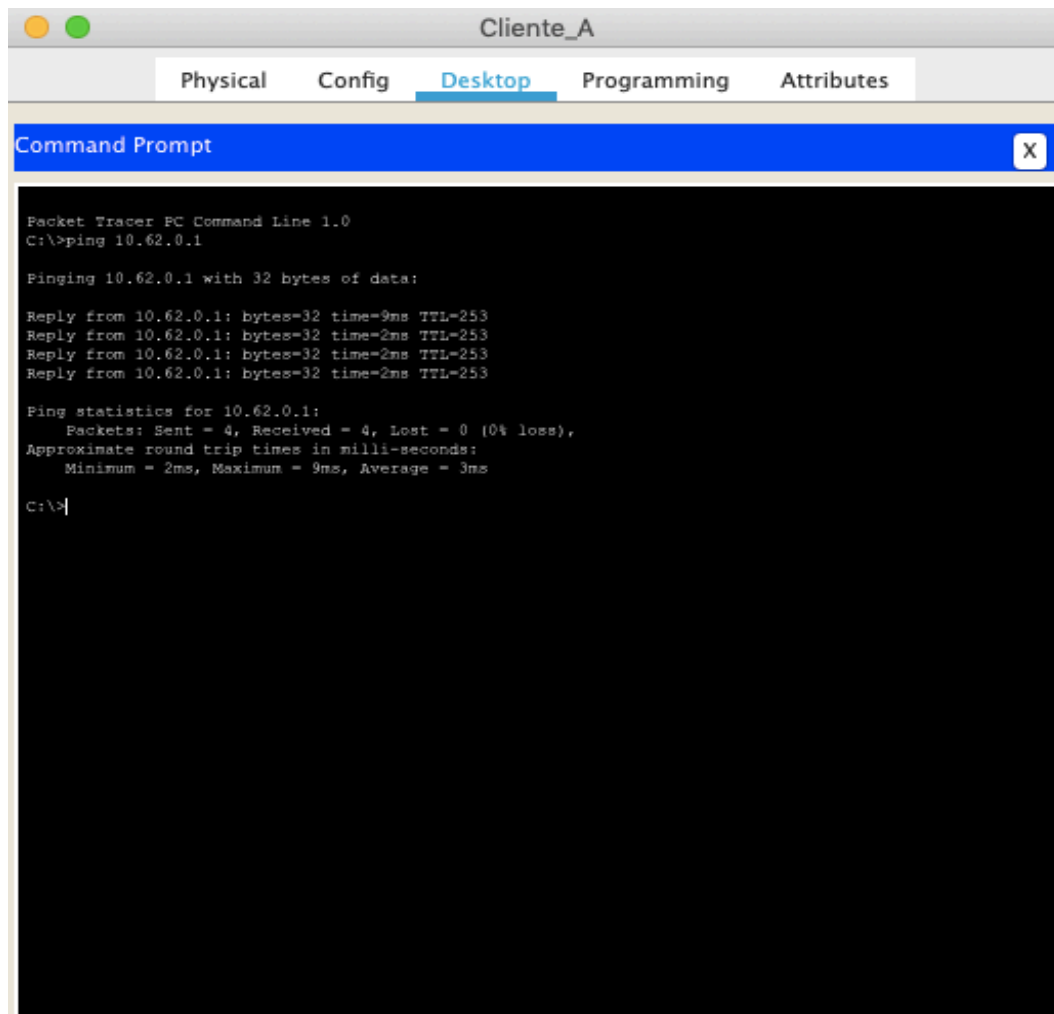


Figura 35. Comando ping exitoso desde el Cliente_A al Cliente_B.⁴⁹

El comando ping, ejecutado en la forma *ping (dirección ip de destino)* (Figura 36), es una herramienta diagnóstica que permite conocer el estado de una red o determinar si un cliente remoto es accesible a través de una ruta que comienza en el cliente desde el que se ejecuta dicho comando.

Para ello se envían 4 paquetes de datos y el sistema muestra si estos paquetes han llegado a su destino y el tiempo aproximado que estos han requerido o si por el contrario estos paquetes no lo logran, ofrece una breve explicación del motivo por el cual no lo han hecho.

⁴⁹ Fuente: Elaboración propia.

Apéndice C. Configuraciones

En este anexo se muestra la configuración de la que han de disponer tanto los módem de la primera prueba como los cifradores de ambas para lograr el enlace.

➤ Módem

CONFIGURACIONES MÓDEM PARADISE 300			
MODEM P300_A:		MODEM P300_C:	
• SERVICE:	CLOSED	• SERVICE:	CLOSED
• FEC:	VITERBI, $\frac{3}{4}$	• FEC:	VITERBI, $\frac{3}{4}$
• VELOCIDAD:	AS	• VELOCIDAD:	AS
• RELOJ TX:	INTERNAL	• RELOJ TX:	RECEIVE REFER
• RELOJ RX:	SATELITE	• RELOJ RX:	SATELITE
• MODULACION:	QPSK	• MODULACION:	QPSK

Figura 36. Configuración de los módem⁵⁰.

➤ Cifradores

CONFIGURACIONES EP-250B			
EP-250B:		EP-250B:	
• VELOCIDAD NOMINAL:	AS	• VELOCIDAD NOMINAL:	AS
• ORIGEN DE RELOJ:	LINEA	• ORIGEN DE RELOJ:	LINEA
• RETARDO DE CANAL:	500 ms	• RETARDO DE CANAL:	500 ms
• SINCRONISMO EXTERNO:	INHIBIDO	• SINCRONISMO EXTERNO:	INHIBIDO
• TIEMPO RESINCR.:	100 ms	• TIEMPO RESINCR.:	100 ms
• BITS ENTRE SINCR.:	10000000	• BITS ENTRE SINCR.:	10000000
• UMBRAL DE SINCR.:	25	• UMBRAL DE SINCR.:	25
• SEÑALES DE CONTROL:	TODAS INACTIVAS	• SEÑALES DE CONTROL:	TODAS INACTIVAS
• ALARMAS:	SILPKCUM	• ALARMAS:	SILPKCUM

Figura 37. Configuración de los cifradores⁵¹.

⁵⁰ Fuente: Elaborado por el Brigada Pedro Arribas (experto en la materia consultado).

⁵¹ Fuente: Elaborado por el Brigada Pedro Arribas (experto en la materia consultado).

Apéndice D. Clasificación de los satélites artificiales.

En este último apéndice se presenta una clasificación de estos satélites artificiales atendiendo al criterio de altura en la que operan (órbita) así como el rango de frecuencias de los que estos pueden disponer y los servicios que proporcionan en función de dichas frecuencias.

Órbitas en las que operan

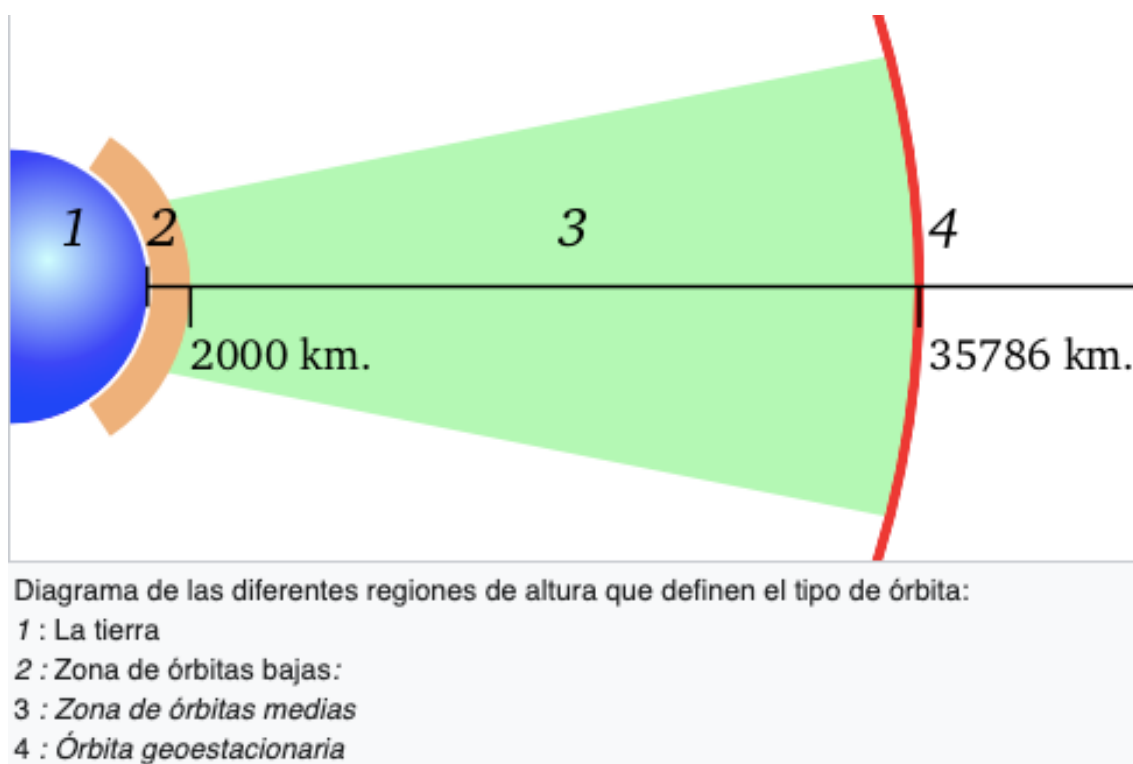


Figura 38. Órbitas satelitales.⁵²

Dependiendo de la altura de la órbita los satélites [8] que operan en ella presentan unas ventajas e inconvenientes que propician unos distintos usos de los mismos (Figura 39).

⁵²Fuente:https://es.wikipedia.org/wiki/Órbitas_de_satélites_artificiales#/media/Archivo:OrbitAltitude.png

- *Órbita Baja (LEO)*

Órbitas geocéntricas con altitudes inferiores a 2.000 km.

Los satélites en esta órbita proporcionan un gran ancho de banda, una baja latencia de comunicación, una mayor accesibilidad debido a su mayor cercanía y debido a la misma, un menor coste de puesta en órbita.

Por otro lado esta órbita presenta un reducido campo de visión, lo que obliga a menudo a trabajar con redes o constelaciones de satélites. Así mismo estas órbitas sufren una mayor y más rápida desintegración orbital, siendo por tanto necesarios reinicios periódicos o el lanzamiento de nuevos satélites como sustitución.

Satélites de observación, satélites Iridium o la Estación Espacial Internacional son algunos ejemplos de satélites que operan en este tipo de órbita.

- *Órbita Media (MEO)*

Son órbitas geocéntricas que varían en altitud desde 2.000 km hasta justo debajo de la órbita geosíncrona a 35.786 kilómetros.

Esta órbita presenta menos pérdidas por propagación que la geoestacionaria y los satélites que trabajan en ella sufren un menor desgaste que aquellos que operan en órbitas LEO, lo que se traduce en una mayor vida útil.

Por el contrario, estos satélites requieren, al igual que ocurre en la órbita LEO, de una compleja arquitectura de red, además de ser vulnerables a eclipses y a la basura espacial. Comunicaciones móviles, GPS y Galileo son algunos usos de órbitas MEO.

- *Órbita Geoestacionaria (GEO)*

Una órbita geoestacionaria se define como una órbita geosíncrona con inclinación cero.

Ésta es una órbita circular a 35.786 kilómetros sobre el ecuador de la Tierra y siguiendo la dirección y sentido de su rotación.

En esta órbita encontramos una tecnología muy desarrollada, los satélites gozan de buena visibilidad y permite una señal muy estable gracias a la predictibilidad de las interferencias.

No obstante no cubre zonas polares, conlleva un retardo considerable y el coste de lanzamiento es muy elevado.

Algunos ejemplos del uso de esta órbita pueden ser en meteorología (METEOSAT) o en comunicaciones (Thuraya, Hispasat o Inmarsat entre otros).

Bandas de frecuencias en las que operan

Del mismo modo que ocurre con los distintos tipos de órbitas, el amplio espectro de bandas de frecuencia con el que los satélites pueden trabajar [9] permite destinar a cada una de ellas una funcionalidad de forma que se maximice su eficiencia y eficacia.

- *Banda L (1-2 GHz)*

Frecuentemente utilizada en operadores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y también teléfonos móviles por satélite, como Iridium. Inmarsat proporciona comunicaciones por mar, tierra y aire.

- *Banda S (2-4 GHz)*

Utilizada fundamentalmente en los radares meteorológicos, radares de superficie para barcos y algunos satélites de comunicaciones.

- *Banda C (4-8 GHz)*

Principalmente para comunicaciones por satélite comúnmente en áreas que están sujetas a lluvias tropicales, ya que es menos susceptible al desvanecimiento por lluvia que la banda Ku.

- *Banda X (8-12 GHz)*

De uso fundamentalmente militar. Se utiliza en aplicaciones de radar, monitoreo del clima y control del tráfico aéreo entre otras.

- *Banda Ku (12-18 GHz)*

Utilizado para comunicaciones por satélite. En Europa, el enlace descendente de banda Ku se utiliza de 10,7 GHz a 12,75 GHz para servicios de transmisión directa por satélite, como Astra.

- *Banda Ka (26-40 GHz)*

Satélites de comunicaciones, enlace ascendente en las bandas de 27,5 GHz y 31 GHz, y radares de focalización de corto alcance y alta resolución en aviones militares.